

# **Mini-Autocarros Eléctricos da Cidade de Coimbra: Estudo de Melhoria da Eficiência Energética, Propostas e sua Viabilidade Técnico-Económica**

Trabalho de projecto apresentado para a obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Electrotécnica – Área de Especialização em Automação e  
Comunicações em Sistemas de Energia

**Autor**

**Nuno Miguel da Silva Faria**

**Orientadores**

**Prof. Doutor Paulo José Pereirinha**

**Prof. Doutor João Pedro Trovão**

**Coimbra, Dezembro, 2015**



## AGRADECIMENTOS

Como qualquer feito humano, o presente trabalho não é labor exclusivo do seu autor. É, também, fruto dos conhecimentos adquiridos, experiências vividas e fundamentalmente das pessoas que com ele partilham este caminho.

Assim sendo, desejo desta feita agradecer:

- ao Instituto Superior de Engenharia de Coimbra que me acolheu com diligência e simpatia ao longo do tempo que aqui fui discente;
- ao Departamento de Engenharia Electrotécnica (DEE-ISEC) e seus docentes que me proporcionaram as “ferramentas” necessárias para desbravar e trilhar o meu percurso académico de licenciatura e agora mestrado;
- à Fundação para a Ciência e Tecnologia, o apoio dado através do Projecto MESMO-EV - Multiple Energy Storage Systems Management Optimization for Electric Vehicles (PTDC/EEA-EEL/121284/2010);
- aos meus Orientadores, Prof. Doutor Paulo Pereirinha e Prof. Doutor João Trovão pela confiança que depositaram em mim. O meu sincero bem-haja pelos ensinamentos, orientações, correcções e pelas longas horas a esclarecer dúvidas;
- ao Prof. Doutor José Luís Martinho a orientação dada nas matérias económicas;
- ao Eng.º Jorge Falcão dos SMTUC que esteve sempre disponível para me receber e fornecer toda a informação necessária;
- ao Felipe Machado que constituiu uma preciosa ajuda em momentos chave deste trabalho e com o qual cimentei uma boa amizade;
- ao Pedro Mota Santos pela disponibilidade e ajuda nos contactos iniciais com os SMTUC e na informação fornecida;
- ao Mário Silva e ao Hugo Melo pelo bom acolhimento no “grupo do Lab. AcE”, partilha de conhecimentos e amizade;
- aos meus colegas de curso pelos conhecimentos partilhados e pela camaradagem;
- aos meus familiares um forte agradecimento pelo incentivo e apoio.

Finalmente, quero expressar profundo reconhecimento à Cristina, à Luísa e ao João Vasco por serem presentemente os pilares essenciais da minha vida. Agradeço-vos, especialmente, as horas em que vos privei da minha companhia para levar a cabo esta jornada e o apoio e amor com que sempre me brindaram. Obrigado! Este trabalho é também muito vosso!



## RESUMO

Esta tese de mestrado apresenta uma análise comparativa de utilização e custos entre duas químicas de baterias diferentes com o objectivo de melhorar a eficiência energética dos mini-autocarros eléctricos de Coimbra, que actualmente utilizam baterias de ácido-chumbo. Para o propósito foi desenvolvida a representação energética macroscópica do modelo do mini-autocarro incluindo o seu controlo e estratégia. Para a correcta análise do comportamento do mini-autocarro foram recolhidos os dados GPS do percurso com especial atenção aos declives. A alternativa de bateria de íões de lítio foi escolhida considerando a mesma tensão, capacidade e o espaço disponível no mini-autocarro para o sistema de armazenamento de energia. Os resultados da simulação irão ajudar a maximização das variáveis técnicas e económicas. O trabalho é concluído com a apresentação de resultados para apoiar a decisão de futuros investimentos em novas baterias.

Palavras Chave - Mobilidade sustentável, Mini-autocarro eléctrico, Tecnologia de baterias, Representação Energética Macroscópica, Análise económica



## ABSTRACT

This MSc thesis presents a comparative usability and cost analysis between two different battery chemistries in order to improve the energetic efficiency of Coimbra's electric minibuses, which currently use lead-acid batteries. For the purpose, an energetic macroscopic representation model of the electric minibus was developed, including its control layer and strategy structure. To analyse correctly the minibus behaviour, route data was collected by GPS with special attention to slopes. Li-ion batteries' pack alternative is selected considering the same voltage, capacity and available space in minibus for the energy storage system. Simulation results will help the maximization of both economic and technical variables. This work will end with the presentation of figures to support the decision of future investments in new batteries

**Keywords**—Sustainable Mobility, Electric minibus, Battery Technologies, Energetic Macroscopic Representation, Economic Analysis





## ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE QUADROS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Publicações	2
2 MODELIZAÇÃO	3
2.1 Obtenção Ciclo de Funcionamento	5
3 REPRESENTAÇÃO ENERGÉTICA MACROSCÓPICA	8
3.1 Introdução	8
3.2 Modelo REM	9
3.3 Controlo	14
3.4 Parâmetros	16
3.5 Configuração Inicial	17
4 DIMENSIONAMENTO	19
4.1 Estado Actual e Tendências de Baterias	19
4.2 Casos de Estudo	20
5 SIMULAÇÕES	24
6 ANÁLISE ECONÓMICA	31
6.1 Introdução	31
6.2 Conceitos de análise económica	34
6.3 Conclusão do Capítulo	40
7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	41
7.1 Trabalhos Futuros	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Imagem de satélite com percurso a linha azul	6
Figura 2.2- Mini-autocarro na zona alta da Cidade	6
Figura 2.3-Gráfico do percurso com altitude, tempo e velocidade	7
Figura 3.1- Modelo funcional do mini-autocarro	8
Figura 3.2-Baterias do mini-autocarro	9
Figura 3.3- Conversor DC-DC	9
Figura 3.4- Motor DC excitação série	9
Figura 3.5- Representação Energética Macroscópica do mini-autocarro	10
Figura 3.6-Curvas de descarga de uma célula	11
Figura 3.7- Representação final com controlo	14
Figura 3.8- Definição de KD2	16
Figura 4.1- Gráfico de Ragone para várias químicas	20
Figura 4.2- Fluxograma da metodologia de escolha de baterias alternativas	21
Figura 5.1- REM no MATLAB/Simulink	24
Figura 5.2- Gráfico da tensão para bateria de ácido-chumbo	25
Figura 5.3- Gráfico da corrente para bateria de ácido-chumbo	25
Figura 5.4- Gráfico do estado de carga para bateria de ácido-chumbo	25
Figura 5.5- Gráfico da tensão para iões de lítio 700 Ah	26
Figura 5.6- Gráfico da corrente para iões de lítio 700 Ah	26
Figura 5.7- Gráfico do estado de carga para iões de lítio 700 Ah	27
Figura 5.8- Gráfico da tensão para iões de lítio 500 Ah	27
Figura 5.9- Gráfico da corrente para iões de lítio 500 Ah	28
Figura 5.10- Gráfico do estado de carga para iões de lítio 500 Ah	28
Figura 5.11- Gráfico da tensão para iões de lítio 400 Ah	29
Figura 5.12- Gráfico da corrente para iões de lítio 400 Ah	29
Figura 5.13- Gráfico do estado de carga para iões de lítio 400 Ah	29
Figura 6.1- Evolução da taxa de refinanciamento do BCE	35

## ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 2.1- Blocos da REM	4
Tabela 3.1- Características físicas do mini-autocarro	17
Tabela 3.2- Características do motor DC	17
Tabela 3.3- Características da bateria de ácido-chumbo	18
Tabela 4.1- Características da bateria de iões de lítio 700 Ah	22
Tabela 4.2- Características da bateria de iões de lítio 500 Ah	22
Tabela 4.3- Características da bateria de iões de lítio 400 Ah	23
Tabela 5.1- Quadro resumo das simulações	30
Tabela 6.1- Quadro de custos associados a cada bateria	31
Tabela 6.2- Custos desagregados do carregador e BMS	32
Tabela 6.3- Quadro de preços de energia	33
Tabela 6.4- Necessidades de carga por bateria	33
Tabela 6.5- Gastos anuais no recarregamento por bateria	34



# 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho insere-se na área da Mobilidade Eléctrica mais concretamente nos transportes públicos eléctricos de Coimbra.

Recordando um pouco de história encontra-se-á factos interessantes mas pouco conhecidos sobre o veículo eléctrico. O primeiro veículo a ser construído era eléctrico e foi projectado por Thomas Davenport em 1835, cabendo também a um veículo eléctrico a proeza de ultrapassar pela primeira vez os 100 km/h em 1899.

O advento da produção em massa no início do século passado, a adopção do motor de combustão interna que permitia maior autonomia e a invenção do motor de arranque conduziu ao abandono deste tipo de veículos para transporte particular.

A cidade de Coimbra tem contudo feito bastante história na área dos veículos eléctricos para transporte público com a introdução do *tram-train* em 1911 e do *trolley-bus*, os célebres “Pantufas” dado o pouco ruído produzido na sua locomoção, em 1947. Actualmente ainda opera 3 linhas de *trolley-bus* e 1 linha de mini-autocarros eléctricos. Notícias recentes dão conta da intenção dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC) introduzir uma linha com um autocarro híbrido, reabilitar um percurso de *tram-train* para fins turísticos e a reconversão/modernização da sua frota de *trolleys*.

Presentemente a Mobilidade Eléctrica tem vindo a reganhar importância dado o aumento das preocupações ambientais nomeadamente no que concerne às emissões de gases de efeito de estufa. Em 2010, a fatia de emissões de dióxido de carbono equivalente, na União Europeia, atribuída ao sector dos transportes era de 28,8%[1]. Outro motivo forte para um olhar mais atento sobre esta área é a tendência de valores elevados dos preços do petróleo, fruto da instabilidade política e social de alguns importantes países produtores deste combustível fóssil.

São grandes as vantagens do incremento e penetração da mobilidade eléctrica em todos os sectores do transporte seja ele particular, público ou de mercadorias. Destaca-se desde logo a ausência local de emissões de gases de efeito de estufa, a redução significativa de poluição sonora em ambiente urbano, a redução da dependência de combustíveis fósseis e pela baixa manutenção requerida por este tipo de veículos, isto para enumerar apenas algumas das principais vantagens.[2][3]

Contudo, há ainda alguns problemas que não permitem uma maior adesão a este tipo de veículos, sendo estes: a sua autonomia, o seu recarregamento demorado e o seu elevado custo inicial. Analisando bem, estes três problemas têm uma origem comum e essa reside no sistema de armazenamento de energia, vulgo bateria.

Assim, será de fácil dedução que o presente trabalho se vai dedicar à análise comparativa de baterias sob as vertentes técnica e económica como alternativa à bateria que equipa presentemente o mini-autocarro Tecnobus Gulliver. Este mini-autocarro foi introduzido em

Coimbra em 2003 e desde então se notou um envelhecimento precoce da bateria de ácido-chumbo[4][5]. O fabricante já abandonou este tipo de bateria equipando recentemente o mesmo mini-autocarro com soluções como as baterias *Zebra* ou pilhas de combustível.

A presente tese tem o seu início com a presente introdução passando no próximo capítulo (Cap. 2) para a explicação da necessidade de um modelo e apresentando a opção tomada. Demonstra-se-á ainda neste mesmo capítulo o processo de obtenção do ciclo de funcionamento do mini-autocarro. No capítulo 3 será apresentado a forma de representação do modelo e a sua construção. Apresenta-se no fim deste os resultados das simulações para a actual bateria de ácido chumbo.

O capítulo 4 serão seleccionadas baterias alternativas e apresentados os parâmetros de entrada do modelo. Sguidamente no capítulo 5 serão expostos os resultados das simulações e seu comentário comparativo.

A análise económica terá lugar no capítulo 6 de onde sairá uma possível solução alternativa ao presente sistema de armazenamento de energia.

Finalmente serão apresentadas as conclusões e a possibilidade de trabalhos futuros no capítulo 7.

## 1.1 Publicações

A preparação do presente trabalho originou a apresentação de dois artigos científicos:

Nuno Faria, Paulo G. Pereirinha, João P. Trovão “Modelling of an Urban Electric MiniBus using Energetic Macroscopic Representation Graphic Description”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2015, Montreal-Canada, October, 19-22, 2015.

Faria N., Trovão, J.P., Ramos, A.F., Pereirinha, P. “Comparision of Different Battery Technologies for Electric Minibuses Using Energetic Macroscopic Representation”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2014, Coimbra-Portugal, October 27-30, 2014

## 2 MODELIZAÇÃO

Ao longo de anos, o trabalho de um engenheiro, ou de uma equipa de engenheiros, no desenvolvimento de uma nova solução consistia numa fase inicial, no estudo matemático e físico das características pretendidas para o produto seguindo-se o desenho do projecto e a construção de um modelo real sobre o qual eram realizados testes. Com o advento dos computadores e a sua constante melhoria na capacidade de processamento algumas das etapas passaram a ser realizadas com recurso a programas informáticos genéricos ou criados para esse efeito. Actualmente, é já possível desenvolver todas as fases de um produto com a ajuda de modelos computacionais incluindo testes.

As principais vantagens da utilização de modelos computacionais no desenvolvimento de novos produtos são: a redução de tempo entre a ideia e a colocação do produto no mercado, menores custos associados ao processo de estudo, maior segurança na fase de testes e a fiabilidade dos resultados.

O caso concreto de veículos eléctricos e/ou híbridos não são excepção e também aqui, foram sendo desenvolvidas funcionalidades informáticas específicas por forma a modelizar os componentes deste tipo de veículos. São exemplos disso: o *SIMPLEV* desenvolvido em 1991 numa parceria entre o Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos da América (EUA) com o *Idaho National Laboratory*; o *MARVEL* do *Argonne National Laboratory*; o *CarSim* da empresa *AeroVironment Inc.*; o *JANUS* da *Durham University*; o *ADVISOR* do *National Renewable Energy Laboratory* dos EUA; e em 1999 o *V-Elph* da *Texas A&M University* [6].



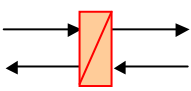
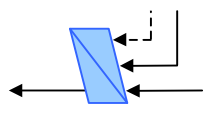
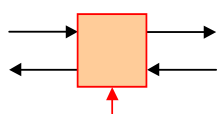
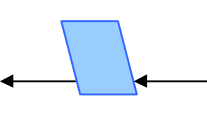
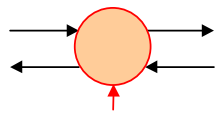
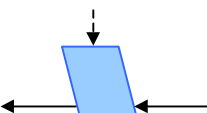
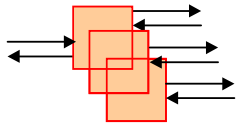
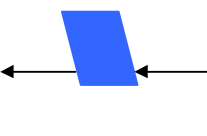
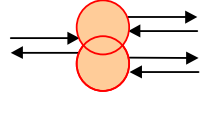
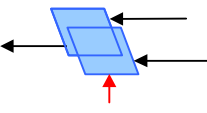
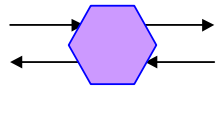
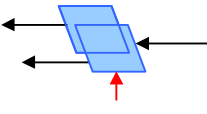
Em 1996, o Prof. Doutor J.P. Hautier da *École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers* - França partindo dos conceitos de gráficos de ordenação causal (Causal Ordering Graphs) publica o artigo “J. P. Hautier, J. Faucher, “*Le Graphe Informationnel Causal*”, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 90, juin 1996, pp. 167-189” que lançaria as sementes da Representação Energética Macroscópica (REM) desenvolvida pelo Prof. Doutor Alain Bouscayrol da *Université de Lille1* - França em 2003 e na qual se baseia o modelo que se apresentará no capítulo seguinte.

A REM é uma representação gráfica dos vários subsistemas que operam, modificam ou armazenam energia num sistema, tendo por base a sua causalidade integral e o princípio de interacção. Assim, elementos de acumulação de energia podem ser definidos tendo em conta a relação de dependência temporal entre as suas variáveis sendo que a saída deste elemento é uma função integral das suas entradas. Outros elementos são definidos sem dependência temporal.[7]

O controlo de um sistema representado com auxílio da REM é deduzido fazendo a inversão directa das funções matemáticas definidas para os componentes não acumuladores do sistema sem recurso a controlo ou medidas. Para os elementos de acumulação em que a inversão de um integral resultaria numa função derivada, função esta que é interdita numa relação de

causalidade, a inversão é feita com recurso a um controlador e medidas criando uma malha fechada de controlo (*close-loop control*). Elementos de junção de energia devem obedecer a entradas com critérios de controlo que definam a organização dos fluxos de energia. Apresentam-se de seguida os vários blocos possíveis de serem utilizados quando se desenvolve um modelo representado com REM.[7]

Tabela 2.1- Blocos da REM

<b>REPRESENTAÇÃO ENERGÉTICA MACROSCÓPICA (REM) [BOUSCAYROL 03]</b>			
	Variáveis de acção-reacção		Fonte de energia
	Acumulação de energia		Inversão indirecta (closed-loop control)
	Conversor mono-físico (conversão de energia)		Inversão directa (open-loop control)
	Conversor multi-físico (conversão de energia)		Inversão directa com rejeição de perturbações
	Acoplamento mono-físico (distribuição de energia)		Estratégia (gestão de energia)
	Acoplamento multi-físico (distribuição de energia)		Inversão do acoplamento (ponderação)
	Modelo matemático ou modelo de estimação		Inversão do acoplamento (distribuição)

As razões que levaram o autor da presente tese a optar pela utilização da REM no seu projecto, prendem-se com os factores experiência e objectivo do estudo.

O autor tomou contacto com a REM em Setembro de 2013 durante a sua participação na escola de verão na Universidade de Lille1 (Summer School EMR'13) e desde então utilizou esta representação gráfica em trabalhos da unidade curricular de Tracção e Veículos Eléctricos e em artigos científicos que publicou. Fez parte da organização da edição de 2014



desta escola de verão aquando da sua realização em Coimbra e apresentou o seu trabalho com REM na edição de 2015, novamente na Universidade de Lille1.

## 2.1 Obtenção Ciclo de Funcionamento

Os mini autocarros TECNOBUS Gulliver U520 ao serviço dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra iniciaram a sua operação em 2003 com o conceito Linha Azul. O conceito de Linha Azul consiste na identificação do percurso com recurso a uma faixa azul pintada no pavimento permitindo aos utentes entrarem e saírem do transporte público em qualquer ponto do percurso bastando sinalizar essa intenção ao motorista.[5]

O percurso efectuado pelos mini autocarros actualmente mantêm-se inalterado, embora tenha sido abandonado o conceito linha azul. Como consequência os mini autocarros têm hoje paragens definidas.

O percurso junta uma componente turística com uma componente social. Do ponto de vista turístico permite não só a promoção do transporte eléctrico, no qual Coimbra sempre apostou bem como na possibilidade de o visitante aceder à zona da Sé Velha sem recurso a veículos ligeiros. Na vertente social permite que a população residente na referida zona e que maioritariamente se compoem por idosos tenha assim a possibilidade de viajar até ao eixo pedonal que liga a Portagem até à Praça 8 de Maio evitando o isolamento e a exclusão social. Permite ao mesmo tempo que façam as suas compras diárias no Mercado Municipal que também é servido por este transporte.

O trajecto efectuado (Fig. 2.1) poder-se-á dividir em duas partes tomando em consideração as suas características. A parte menos exigente do ponto de vista da operação abrange a Av. Emídio Navarro, o Largo da Portagem, a Rua Ferreira Borges, Rua Visconde da Luz e Praça 8 de Maio onde os declives positivos são pequenos em valor tendo mesmo uma descida significativa na Rua Visconde da Luz. A parte mais exigente do ponto de vista do funcionamento do conjunto baterias-motor inclui a Rua Olímpio Nicolau Rui Fernandes, a Rua Martins de Carvalho, Rua Colégio Novo, Rua dos Coutinhos, Rua Joaquim António de Aguiar e Rua da Alegria que se caracteriza por declives positivos acentuados e arruamentos de pedra e estreitos (Fig. 2.2).



Figura 2.1- Imagem de satélite com percurso a linha azul



Figura 2.2- Mini-autocarro na zona alta da Cidade

A rota efectuada pelo mini autocarro é considerada uma variável de entrada muito importante no modelo a utilizar pelo que, para o efeito, foram efectuadas várias voltas ao percurso a bordo do mini autocarro, onde através de uma aplicação gratuita para o sistema operativo *Android* e com recurso a um telemóvel equipado com um receptor dos sinais da constelação de satélites do Sistema Global de Posicionamento (Global Positioning System - GPS), foram adquiridas as coordenadas no padrão World Geodetic System rev. 1984 (WGS84) comumente utilizado em cartografia, geodesia e navegação. O ficheiro obtido foi posteriormente

trabalhado para um formato de tabela com os valores de velocidade e declive com uma frequência de um segundo.

O gráfico resultante velocidade-tempo-elevação do percurso pode ser observado na Fig. 2.3

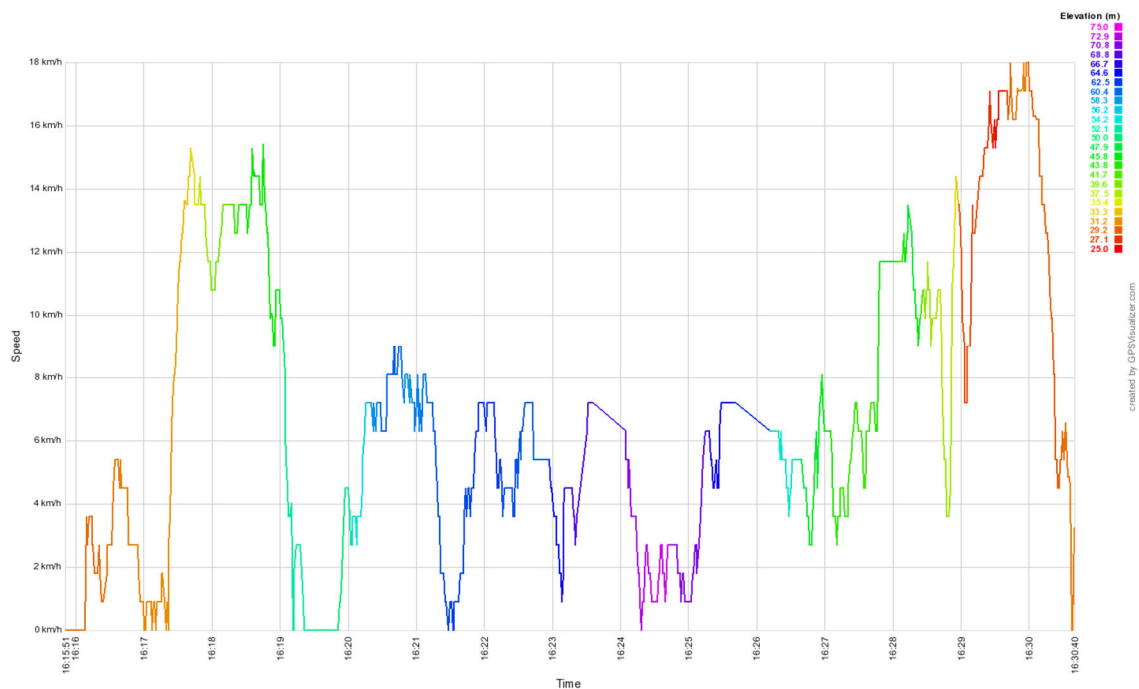


Figura 2.3-Gráfico do percurso com altitude, tempo e velocidade

### 3 REPRESENTAÇÃO ENERGÉTICA MACROSCÓPICA

#### 3.1 Introdução

Como referido no capítulo anterior, a utilização da Representação Energética Macroscópica foi a linha orientadora na criação do modelo do mini autocarro para o estudo em causa.

Sendo o objectivo estudar a viabilidade económica da substituição das actuais baterias de ácido-chumbo por baterias de iões de lítio, torna-se necessário estudar os fluxos de energia que se operam no sistema mini autocarro nomeadamente a energia eléctrica tomando em conta o carregamento das baterias, operação no ciclo apresentado anteriormente e a interacção meio físico-mini autocarro.

Para a construção da representação do modelo recorre-se a uma biblioteca existente no sítio *internet* da REM (<http://www.emrwebsite.org/library.html>) e fazendo a transferência do ficheiro disponível no item *MATLAB-Simulink(c) library*. Este ficheiro contém os blocos apresentados no capítulo 2 adaptados ao *software Simulink* do *MATLAB*.

Na representação do sistema de tracção do autocarro foi tido em conta a configuração apresentada na Fig. 3.1 e que resultou da consulta dos manuais do mini autocarro gentilmente disponibilizados pelos S.M.T.U.C.. Assim, o sistema é composto pelas baterias de ácido-chumbo Fig. 3.2 que estão ligadas eléctricamente a um conversor/inversor Fig. 3.3 que por sua vez está ligado de igual forma ao motor de corrente contínua com excitação série Fig. 3.4. A função do conversor/inversor é a de regular a tensão entregue ao motor de acordo com a posição do pedal de acelerador e ao mesmo tempo permitir a inversão da corrente para o sentido motor-baterias e assim efectuar a regeneração de energia em travagens e descidas [4].

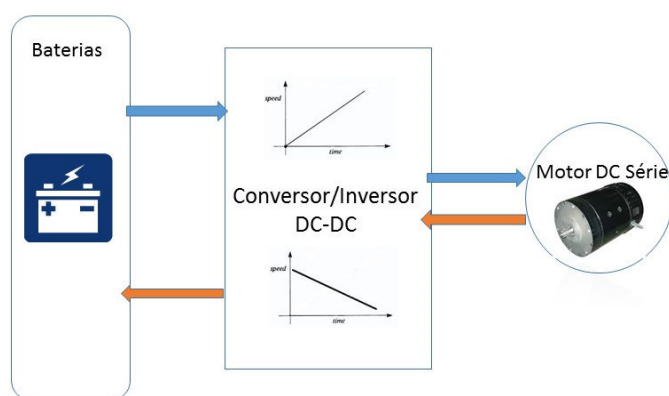


Figura 3.1- Modelo funcional do mini-autocarro





Figura 3.2-Baterias do mini-autocarro



Figura 3.3- Conversor DC-DC



Figura 3.4- Motor DC excitação série

### 3.2 Modelo REM

A figura seguinte Fig. 3.5 apresenta o modelo do mini-autocarro com os elementos e regras da REM. [7]

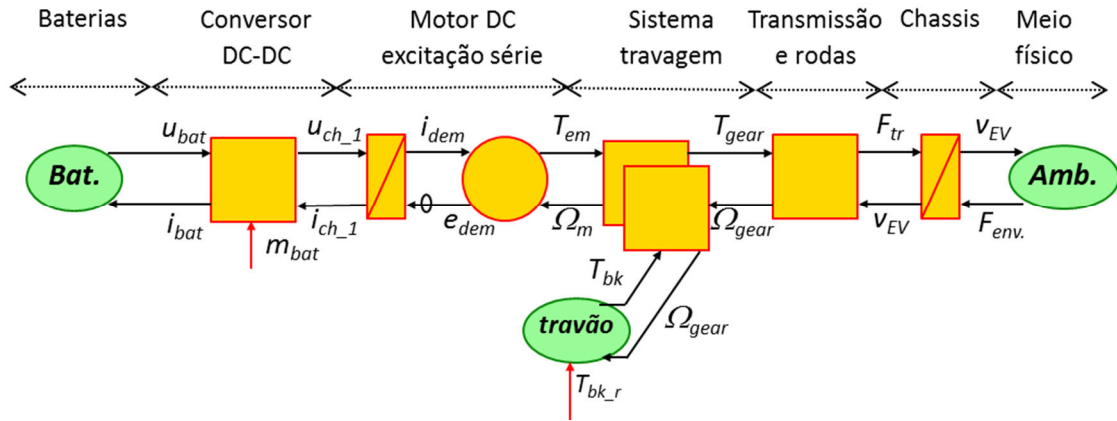


Figura 3.5- Representação Energética Macroscópica do mini-autocarro

Seguindo a ordem baterias-motor-meio físico começou-se por representar as baterias como elemento de fonte de energia utilizando-se para tal o bloco oval verde com a inscrição “Bat.”. A modelização de baterias tem representado um desafio para cientistas na medida em que são necessários novos estudos sempre que é lançada no mercado uma nova constituição química da célula pelo que no presente estudo se optou por seguir o modelo desenvolvido por Olivier Tremblay (MSc) e Louis-A. Dessaint (PhD) em 2009 [8].

A figura seguinte (Fig. 3.6) representa as várias curvas de descarga típicas de uma célula de 3,2 V para diferentes rácios de descarga (0,2C; 0,5C; 1C e 2C) em que o eixo das abcissas apresenta os valores para profundidade de descarga e o eixo das ordenadas contém os valores de tensão da célula. Para melhor entendimento e como durante o presente trabalho se utilizará com maior frequência a expressão “estado de carga”, importa aqui realçar que as expressões “profundidade de descarga” e “estado de carga” representam-se ambas em percentagem mas o seu valor é complementar, isto é, a uma profundidade de descarga de 10% corresponde um valor de 90% de estado de carga e a um valor de 80% de profundidade de descarga equivale a um estado de carga de 20%.

Observando atentamente a figura encontram-se assinalados nas curvas dois pontos de fim de zona. Na parte mais à esquerda do gráfico é apontado o ponto de fim de zona exponencial que representa o fim da queda de tensão que ocorre entre o instante de inicial de carga total da célula e o início da descarga. O ponto mais à direita rotulado de “Fim de zona nominal” indica o instante em que o valor da descarga atinge valores não recomendados para operação (inferior a 20% de estado de carga) e a célula regista uma significativa queda de tensão aos seus terminais. Definidos estes pontos delimita-se uma “Zona nominal” no gráfico, compreendida entre os valores de 90% e 20% de estado de carga (10% e 80% de profundidade de descarga, respectivamente) e que serão os valores de referência para as simulações que se apresentarão no capítulo 5.

As várias curvas apresentadas no gráfico para os diferentes rácios de descarga da célula apresentam na zona nominal um comportamento muito idêntico e será sobre esta zona que a modelização das baterias irá incidir.

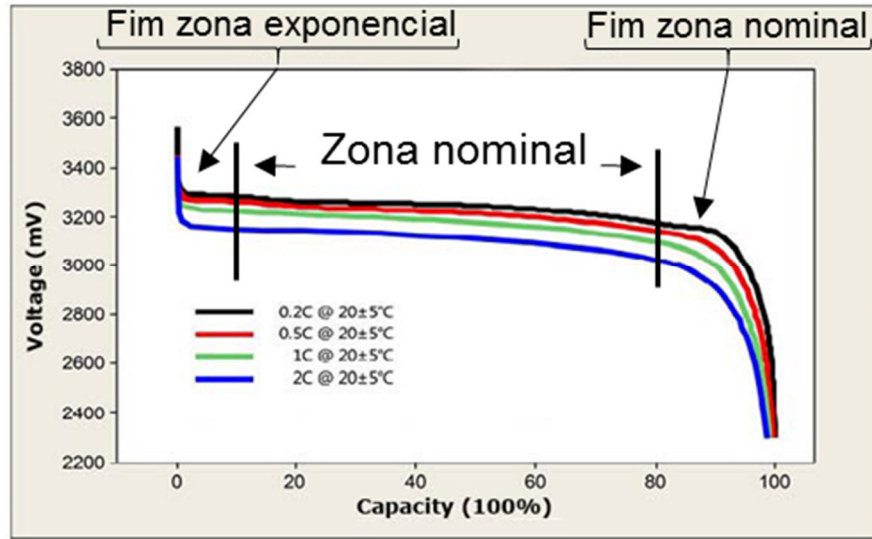


Figura 3.6-Curvas de descarga de uma célula

O modelo utilizado assenta na utilização de uma fonte de tensão controlada com uma resistência constante em série. Para a determinação do modelo assume-se que:

- os parâmetros são equivalentes na carga e na descarga e são determinados a partir da descarga;
- a resistência interna se mantém constante nos ciclos de carga e descarga e não varia com a amplitude da corrente;
- a capacidade da bateria não se altera com a amplitude da corrente;
- o modelo não sofre alterações com a temperatura;
- não existe a auto descarga da bateria;
- a bateria não tem efeito de memória.

Após estas considerações a equação não linear de controlo da fonte virá [8]:

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q - \int i dt} + A * e^{-B * \int i dt} \quad (1)$$

O parâmetro B representa a constante de tempo inversa na zona exponencial e o parâmetro A a queda de tensão que ocorre nessa mesma zona para a bateria. O parâmetro K é o valor da tensão de polarização da bateria e Q a capacidade da mesma. O  $E_0$  indica o valor da tensão constante da bateria. O valor da resistência interna da bateria quando não é fornecido pelo fabricante poderá ser inicialmente calculado com recurso ao valor da eficiência,  $\eta$ , da bateria e utilizando a seguinte equação [8]:

$$R_i = V_{nominal} \frac{1 - \eta}{0,2 * Q_{nominal}} \quad (2)$$

O componente a ser modelizado seguidamente é o conversor DC-DC que faz a conversão de tensão das baterias para o motor e permite em conjunto com contactores externos, fazer a inversão do sentido da corrente para regeneração de energia. No entanto e quando consultados os manuais do veículo, verificou-se que os valores teóricos de regeneração de energia na configuração presente se situavam entre 2 e 5% pelo que se optou por não considerar esta funcionalidade no modelo.

O elemento utilizado em REM para este equipamento é um conversor mono-físico (quadrado laranja) e cujas saídas são linearmente dependentes das entradas por um factor  $m_{bat}$  que depende do controlo do sistema, como se verá mais à frente. A formulação deste elemento é apresentada na equação seguinte [9]:

$$\begin{cases} u_{ch_1} = m_{bat}u_{bat} \\ i_{bat} = m_{bat}i_{ch_1} \end{cases} \quad (3)$$

O motor DC de excitação série foi modelizado recorrendo a dois elementos: um elemento de acumulação (rectângulo laranja com linha diagonal) que representa as resistências ( $R_a$  e  $R_f$ ) e indutâncias ( $L_a$  e  $L_f$ ) da armadura e dos enrolamentos de campo e um elemento de conversão multi-físico (círculo laranja) em que a entrada de uma grandeza eléctrica, no caso a corrente  $i_{dem}$ , será convertida em binário,  $T_{em}$ . A fórmula subjacente ao elemento de acumulação é [9]:

$$(L_a + L_f) \frac{d}{dt} i_{dem} + (R_a + R_f) i_{dem} = u_{ch_1} - e_{dem} \quad (4)$$

Para o motor DC as equações serão [10]:

$$\begin{cases} e_{dem} = K_a \Phi \Omega_m \\ T_{em} = K_a \Phi i_{dem} = K_a K_b i_{dem}^2 \end{cases} \quad (5)$$

Nesta equação  $e_{dem}$  representa a força electromotriz,  $K_a$  a constante de binário,  $K_b$  a constante de velocidade sendo estas constantes parâmetros fixos do motor. A variável  $\Omega_m$  representa a velocidade do motor em rotações por minuto e o produto  $K_a \Phi$  o coeficiente de fluxo do motor que pode ser também descrito pelo produto  $K_a K_b i_{dem}$ .

O sistema mecânico de travagem é composto por um elemento de fonte de energia (oval verde) que representa a força de travagem ligado a um elemento de acoplamento mono-físico (quadrados laranjas sobrepostos) que permite interligar a parte eléctrica do motor DC e a parte mecânica da caixa de transmissão e rodas do veículo. O acoplamento deste dois elementos (motor e caixa de transmissão) através do elemento referido permite o estudo do balanço de energia entre o motor (regeneração de energia) e os travões (dissipação térmica de energia)[11].



$$\begin{cases} T_{gear} = k_{gear}(T_{em} - T_{bk}) \\ \Omega_m = k_{gear}\Omega_{gear} \end{cases} \quad (6)$$

A equação anterior serve para definir as variáveis de saída do elemento de acoplamento mono-físico, em que  $k_{gear}$  representa a relação de transmissão da respectiva caixa. Omite-se neste momento a explicação do funcionamento do elemento de acumulação “travão” para voltar a este mais à frente quando se apresentar o controlo.

Representando a caixa de transmissão e rodas recorre-se a um elemento de conversão mono-físico (quadrado laranja) sendo as suas equações (7) [9][12]:

$$\begin{cases} F_{tr} = \frac{G_{gb}}{r} T_{gear} \eta_{gb}^\beta \\ \Omega_m = \frac{G_{gb}}{r} v_{EV} \end{cases} \quad \begin{cases} \beta = 1, \text{ for } P_{mec} \geq 0 \\ \beta = -1, \text{ for } P_{mec} < 0 \end{cases} \quad (7)$$

A força de tracção  $F_{tr}$  é obtida com recurso ao quociente  $\frac{G_{gb}}{r}$  que representa a relação de transmissão global multiplicado pelo binário  $T_{gear}$  do lado mais rápido da caixa de transmissão e a eficiência da mesma  $\eta_{gb}^\beta$ . A velocidade do rotor do motor  $\Omega_m$  é calculada com recurso ao mesmo quociente  $\frac{G_{gb}}{r}$  multiplicado pela velocidade do veículo. A definição de  $\beta$  ao qual a eficiência está elevada  $\eta_{gb}^\beta$  depende de a potência mecânica ser maior ou igual a zero ou ser negativa. O escorregamento das rodas é negligenciado e as forças inerciais incorporadas na massa do veículo  $M_{eq}$ .

O elemento de representação do chassis do veículo é de acumulação (rectângulo laranja com linha diagonal) dado que este componente armazena energia cinética. A sua equação é dada por [9]:

$$M_{eq} \frac{d}{dt} v_{EV} = F_{tr} - F_{env} \quad (8)$$

em que  $M_{eq}$  representa a massa equivalente do veículo  $F_{env}$  a força de reacção do meio-físico onde o mini-autocarro opera.

Finalmente, o elemento de fonte de energia “Amb.” (oval verde) que representa a força a que o veículo está sujeito no ambiente em que opera [10].

$$F_{env} = \mu_{rr} M_{eq} g + \frac{1}{2} \rho A_f C_d v_{EV}^2 + M_{eq} g \sin(\theta) \quad (9)$$

Para cálculo desta força  $F_{env}$  utiliza-se a soma da força do atrito  $\mu_{rr} M_{eq} g$  com a força da resistência do ar ao deslocamento  $\frac{1}{2} \rho A_f C_d v_{EV}^2$  e a força gravítica na sua componente horizontal

$M_{eq} g \sin(\theta)$ . Os valores dos parâmetros fixos  $\mu_{rr}$ ,  $\rho$ ,  $A_f$  e  $C_d$  serão apresentados na secção 3.4 deste capítulo.

### 3.3 Controlo

Para deduzir a estrutura de controlo do subsistema de energia do mini-autocarro, e como referido no capítulo anterior, procede-se à inversão dos elementos não acumuladores e definem-se malhas fechadas de controlo para os elementos acumuladores.

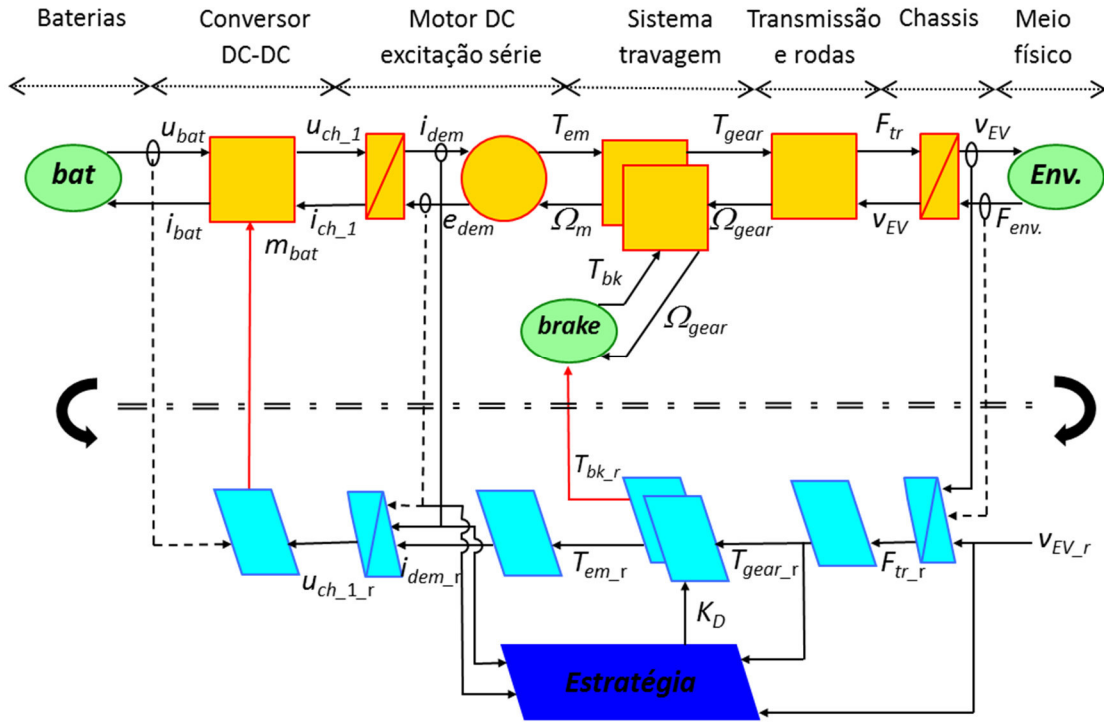


Figura 3.7- Representação final com controlo

A figura supra é a imagem final da representação do modelo com a parte de controlo. A linha dupla traço-ponto enquadrada pelas setas semi-circulares foi propositadamente adicionada para o leitor a considerar imaginariamente um espelho e verificar o que foi afirmado anteriormente, sobre a dedução do controlo, e que resulta da inversão dos elementos superiores.

Desta forma e iniciando a dedução do controlo no sentido contrário (ambiente-motor-baterias) o primeiro elemento a inverter é o elemento de acumulação “Chassis”. Para o efeito utiliza-se o elemento “Inversão indirecta” (losângulo azul com linha diagonal) que recebe o valor de referência da velocidade do autocarro,  $v_{EV_r}$ , e define a referência da força de tracção,  $F_{tr_r}$ . Neste elemento há a necessidade de definir um controlador  $C_S(t)$  que deve rejeitar perturbações de  $F_{env}$  [11].

$$F_{tr_r} = (v_{EV_r} - v_{EV}) + F_{env} \quad (10)$$

Seguidamente, para definir a referência do binário aplicado à parte de maior rotação da caixa de transmissão do motor procede-se à inversão da equação (7) resultando em [9]:

$$T_{gear\_r} = \frac{r}{G_{gb}} F_{tr\_r} \quad (11)$$

O elemento de inversão do conversor mono-físico (Transmissão e rodas) é o bloco “Inversão directa” representado por um losângulo azul.

O elemento seguinte no controlo é a “Inversão do acoplamento” (losângulos azuis sobrepostos) e como referido anteriormente quando se definiu o acoplamento mono-físico ir-se-á agora desenvolver mais detalhadamente a função associada ao elemento fonte de energia “travão”.

A determinação das referências dos binários de travagem e do motor eléctrico  $T_{bk\_r}$  e  $T_{em\_r}$ , respectivamente, serão obtidas tendo em conta a referência fornecida a este elemento,  $T_{gear\_r}$ , e um critério de distribuição,  $K_D$ , que estará compreendido entre 0 e 1 e que permite determinar a energia a alocar entre o motor eléctrico e os travões mecânicos. Quando  $K_D = 0$  a travagem será puramente mecânica e  $K_D = 1$  indicará travagem puramente eléctrica. O valor que a variável tomará, terá origem na estratégia de controlo (losângulo azul escuro) à custa dos valores medidos da corrente do motor ( $i_{dem}$ ), da força electromotriz ( $e_{dem}$ ), da referência do binário aplicado à parte de maior rotação ( $T_{gear\_r}$ ) e à referência da velocidade do veículo ( $v_{EVr}$ )[11].

O critério será então definido pela formulação seguinte[8]:

$$K_D = \begin{cases} 1 \\ \min(K_{D1}, K_{D2}) \end{cases} \quad (12)$$

Observando a condição anterior para  $K_D$ , verifica-se a necessidade de definição de duas novas subcondições  $K_{D1}$  e  $K_{D2}$ . A primeira sub-condição  $K_{D1}$ , impõe a observância do binário máximo admissível pela máquina eléctrica na frenagem eléctrica ( $T_{bk\_max}$ ), activando a travagem mecânica como compensação tendo em vista a referência do binário de travagem ( $T_{bk_r}$ )[11][16].

$$K_{D1} = \frac{\min(|T_{bk_r}|, |T_{bk\_max}|)}{|T_{bk_r}|} \quad (13)$$

A segunda subcondição  $K_{D2}$  pretende impôr o respeito pela tensão máxima admitida no barramento DC e será definida conforme a figura seguinte (Fig. 3.8) [11].

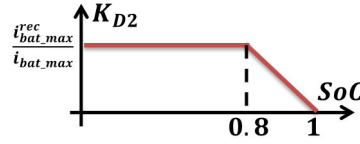


Figura 3.8- Definição de KD2

Embora não se considere no presente estudo a regeneração de energia a subcondição  $K_{D2}$  permite também atender aos limites máximos de corrente de recarregamento das baterias (durante a frenagem eléctrica) assim como ao estado de carga das baterias. Esta subcondição já desta forma definida permite, que caso se optasse pela substituição do motor do mini-autocarro por uma máquina também de corrente contínua mas de excitação separada ou em alternativa de imans permanentes a estratégia de controlo não necessitaria de ser alterada.

Finalmente a formulação para determinação das variáveis de saída do elemento virá[11]:

$$\begin{cases} T_{bk\_r} = K_D T_{gear\_r} \\ T_{em\_r} = T_{gear\_r} - T_{bk\_r} \end{cases} \quad (14)$$

A inversão da parte de conversão multi-física do motor DC é feita com recurso a um elemento de inversão directa (losângulo azul) e à inversão da equação (5) que resulta na determinação da referência da corrente através de[9]:

$$i_{dem\_r} = \sqrt{\frac{T_{em\_r}}{K_a K_b}} \quad (15)$$

A inversão da parte de acumulação da máquina eléctrica em estudo (losângulo azul com linha diagonal) socorre-se novamente de um controlador e da medida de  $i_{dem}$  e de  $e_{dem}$  resultando na referência da tensão do conversor  $u_{ch\_1\_r}$  [9]:

$$u_{ch\_1\_r} = (i_{dem\_r} - i_{dem})C_S(t) + e_{dem} \quad (16)$$

Terminando a estruturação do controlo, resta efectuar a inversão do conversor DC-DC com recurso a um elemento de inversão directa (losângulo azul) e recorrendo à medida da tensão das baterias ( $u_{bat\_meas}$ ) originar a seguinte equação[9]:

$$m_{bat} = \frac{u_{ch\_1\_r}}{u_{bat\_meas}} \quad (17)$$

### 3.4 Parâmetros

Para o funcionamento da REM foi evidentemente necessário consultar os manuais do mini-autocarro afim de adquirir as características físicas do veículo e as características eléctricas do seu sistema de tracção.

Apresenta-se abaixo uma tabela resumo das características físicas do autocarro que alimentaram as variáveis necessárias neste campo para o funcionamento do modelo.

Tabela 3.1- Características físicas do mini-autocarro

Variável	Símbolo	Valor	Unidades
Massa do veículo (sem baterias)	$m$	4285	kg
Coefficiente de resistência ao rolamento	$\mu_{rr}$	0.035	-
Coefficiente aerodinâmico	$C_D$	0.7	-
Área frontal do veículo	$A_f$	5.693	m <sup>2</sup>
Raio das rodas	$r$	0.365	m
Relação da caixa de transmissão	$G_{gb}$	4.37	-
Eficiência da caixa de transmissão	$\eta_{gb}$	90	%

Para o motor de corrente contínua de excitação série obtiveram-se os valores constantes da tabela seguinte:

Tabela 3.2- Características do motor DC

Variável	Símbolo	Valor	Unidades
Tensão nominal	—	72	V
Potência nominal	—	19,7	kW
Binário máximo a 950 r.p.m.	—	235	Nm
Resistência interna	$R$	2,3021	$\Omega$
Impedância	$L$	3,4	mH
Constante de binário	$K_A$	0.024	-
Constante de velocidade	$K_B$	0.024	-

### 3.5 Configuração Inicial

O mini-autocarro na sua configuração de fábrica em 2003 foi equipado com dois conjuntos de baterias de ácido-chumbo cujas características se apresentam na tabela infra:

Tabela 3.3- Características da bateria de ácido-chumbo

Variável	Símbolo	Valor	Unidades
<i>Ácido-chumbo: dados para cada conjunto de baterias 36V</i>			
Potência (@0.5 C)	$P_{bat}$	[ - 2.1, 10.5 ]	kW
Limites do estado de carga	$SoC_{bat}$	[ 20, 100 ]	%
Tensão de circuito aberto mínima	$V_{bat}^{OC_{min}}$	36.65	V
Queda de tensão sem carga	$\delta_{bat}$	2.55	V
Tensão de circuito aberto máxima	$V_{bat}^{OC_{max}}$	39.20	V
Resistência interna	$R_{bat}$	11.7	mΩ
Massa	$M_{bat}$	750	kg
Número de conjuntos em série	$N_{bat}$	2	-
Número de conjuntos em paralelo	$n_{bat}$	1	-

## 4 DIMENSIONAMENTO

### 4.1 Estado Actual e Tendências de Baterias

As baterias têm vindo a evoluir as suas características ao longo dos anos acompanhando o aparecimento de novos produtos autónomos de alimentação constante da rede de energia. Exemplos desses produtos e que nos ocorrem facilmente, porque estão presentes no dia-a-dia, são os computadores portáteis, os telemóveis, os tablets, os aparelhos de recepção GPS, etc..

Recuando cerca de 30 anos e se fosse perguntado ao cidadão comum exemplos de baterias, este daria como resposta as bateria de ácido-chumbo utilizadas nos veículos automóveis para colocar em marcha o motor de combustão interna e as pilhas ácidas ou de Leclanché que se utilizavam em lanternas, receptores de rádio e brinquedos. Estas baterias tinham um leque reduzido de tensões disponíveis (ex. 1,5 V, 4,5V, 9V, 12V) e formato semelhante entre fabricantes.

O percurso das baterias até ao presente foi no sentido de proporcionar maior autonomia aos produtos que as utilizam bem como na redução do volume ocupado por este elemento. Assim, são exemplos disso as baterias de níquel-cádmio, as de hidretos metálicos de níquel, as zebra-sódio (Na-NiCl<sub>2</sub>) e as iões de lítio. Se no caso das baterias de níquel-cádmio o seu fabrico e utilização foi abandonado fruto de questões ambientais relacionadas com a toxicidade do cádmio, é no entanto possível encontrar as restantes aplicadas em produtos recentes.

A tendência será, como já referido, o aumento de autonomia dos produtos que utilizam baterias mas especificidades dos sistemas que as utilizam, levam a que tecnologias mais antigas como o caso de hidretos metálicos de níquel seja muitas vezes suficiente ou então o mais indicado para o fim a que se destina.

As características inerentes à química utilizada na construção das baterias fazem variar a sua energia específica medida em Wh/kg, a sua potência específica medida em W/kg, as correntes de descarga admissíveis, a sua profundidade de descarga, eficiência de carga, número de ciclos carga-descarga, etc.. Para melhor visualização destas diferenças apresenta-se um gráfico de Ragone (Fig. 4.1) [13] onde se comparam em termos de energia específica e potência específica elementos de acumulação de energia como as baterias de ácido-chumbo (Pb-acid), hidretos metálicos de níquel (Ni-MH), iões de lítio (Li-ion), zinco-ar (Zn-air), sódio-enxofre (Na-S) e super condensadores (EDLC – Electric Double Layer Capacitor).

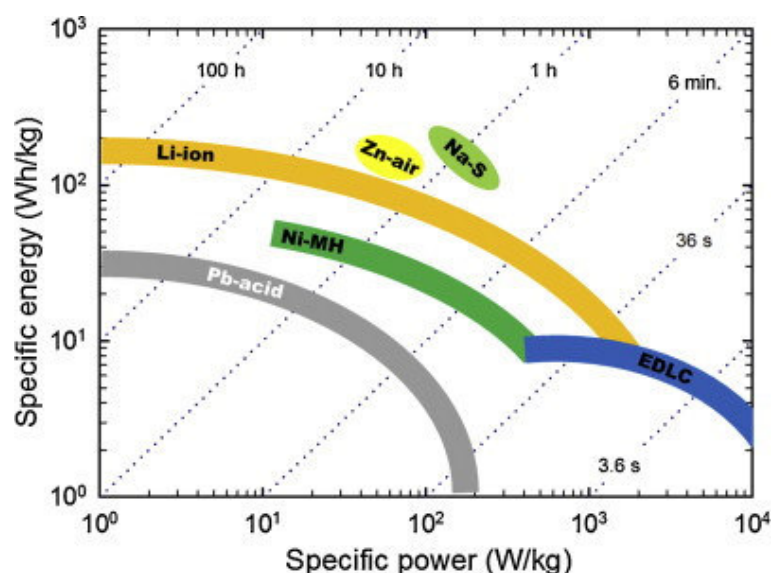


Figura 4.1- Gráfico de Ragone para várias químicas

Pode observar-se na figura a significativa superioridade nos dois factores em análise (potência específica e energia específica) das baterias de iões de lítio em relação às de ácido-chumbo permitindo não só maior potência disponível facilitando no caso dos veículos eléctricos uma aceleração mais rápida bem como maior capacidade energética que aumenta a autonomia do veículo [14].

Na mesma observação do gráfico verifica-se a tendência de químicas como o zinco-ar e o sódio- enxofre poderem vir a ser tecnologias a utilizar num futuro próximo.

## 4.2 Casos de Estudo

Em reuniões com os SMTUC o ponto negativo mais frequentemente abordado por parte deste, foi sempre a pouca autonomia das actuais baterias de ácido-chumbo e a sua reduzida vida útil de aproximadamente 3 anos. Dado o incremento em tecnologia e nomeadamente em termos de elementos de acumulação ocorrido desde o ano de aquisição dos veículos em 2003 foi equacionado a possível utilização de baterias de iões de lítio em detrimento das de ácido-chumbo [15].

Como já referido o presente estudo foi motivado por esta problemática pelo que se avaliaram as alternativas seguindo a metodologia do fluxograma seguinte (Fig. 4.1).

O valor imediatamente superior disponível no mercado aos 585 Ah das actuais baterias de ácido-chumbo foi a configuração de iões de lítio de 700 Ah (folha de especificações no anexo) da qual se apresenta um tabela resumo (Tabela 4.1) [17]:



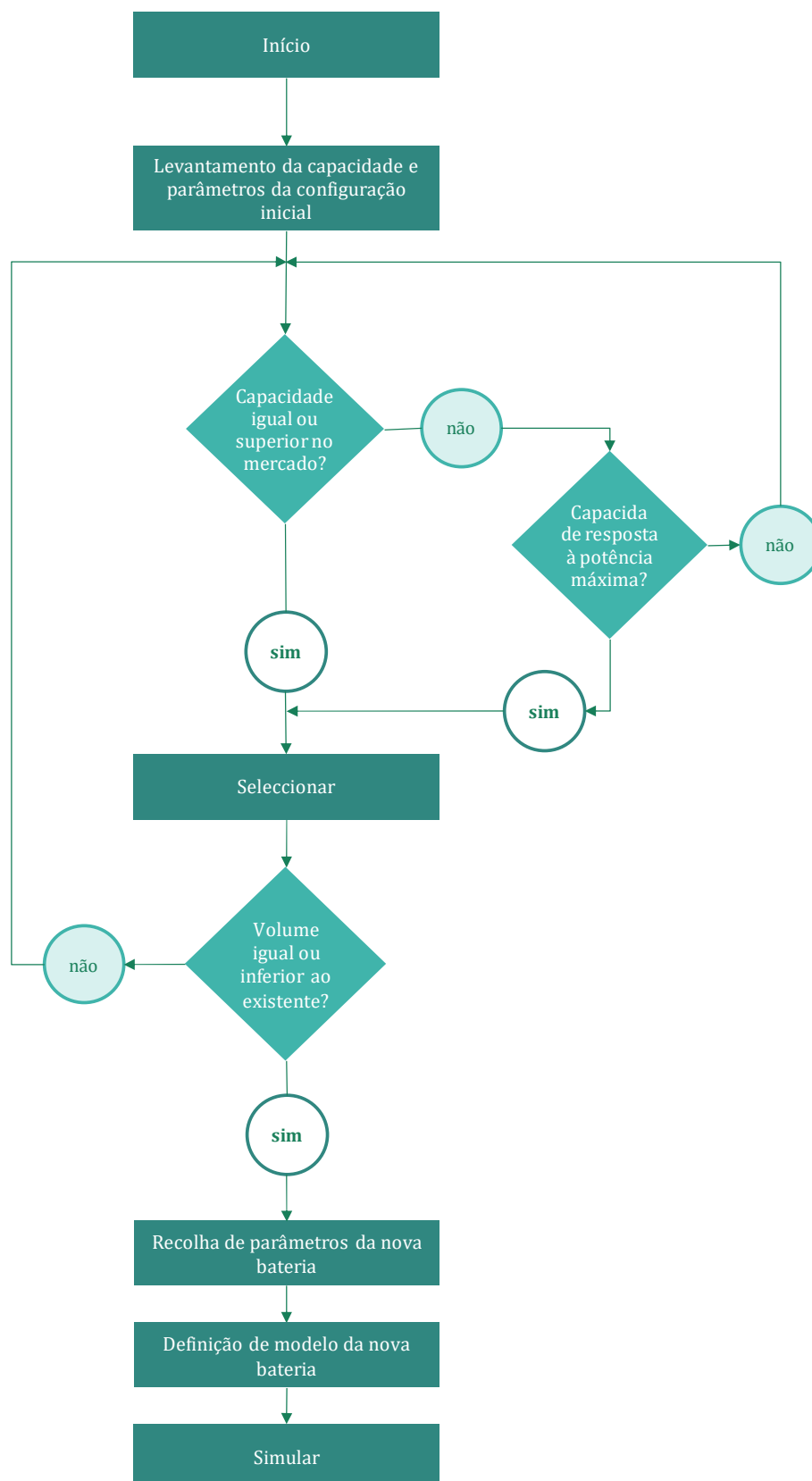


Figura 4.2- Fluxograma da metodologia de escolha de baterias alternativas

Tabela 4.1- Características da bateria de íões de lítio 700 Ah

Variável	Símbolo	Valor	Unidades
<i>Bateria (Li-Ion 3.2V Winston Battery módulos WB-LYP700AHA)</i>			
Potência (@0.5 C)	$P_{bat}$	[ - 25.2, 25.2]	kW
Limites do estado de carga	$SoC_{bat}$	[ 20, 100 ]	%
Tensão de circuito aberto mínima	$V_{bat}^{OC_{min}}$	64.4	V
Queda de tensão sem carga	$\delta_{bat}$	1.2	V
Tensão de circuito aberto máxima	$V_{bat}^{OC_{max}}$	92	V
Resistência interna	$R_{bat}$	4.6	mΩ
Massa	$M_{bat}$	483	kg
Número de conjuntos em série	$N_{bat}$	23	-
Número de conjuntos em paralelo	$n_{bat}$	1	-

Recorrendo de novo à metodologia mas desta feita assumindo uma capacidade inferior mas ainda assim capaz de responder à exigência de potência máxima resultou na configuração também disponível no mercado de 500 Ah com as características resumidas na tabela infra. Esta solução permite não só reduzir o peso do conjunto veículo-baterias mas também o espaço ocupado pela mesma [18].

Tabela 4.2- Características da bateria de íões de lítio 500 Ah

Variável	Símbolo	Valor	Unidades
<i>Bateria (Sinopoly 500Ah LiFePO4 lithium battery)</i>			
Potência (@0.5 C)	$P_{bat}$	[ - 18, 18]	kW
Limites do estado de carga	$SoC_{bat}$	[ 20, 100 ]	%
Tensão de circuito aberto mínima	$V_{bat}^{OC_{min}}$	64.4	V
Queda de tensão sem carga	$\delta_{bat}$	1	V
Tensão de circuito aberto máxima	$V_{bat}^{OC_{max}}$	87.4	V
Resistência interna	$R_{bat}$	6.9	mΩ
Massa	$M_{bat}$	328.9	kg
Número de conjuntos em série	$N_{bat}$	23	-
Número de conjuntos em paralelo	$n_{bat}$	1	-

Tendo em mente a possibilidade de reduzir ainda mais a massa e o volume ocupado assim como o custo global entendeu-se considerar uma potência ainda inferior às anteriores (500 Ah) e integrou-se no estudo a configuração de 400 Ah. A tabela resumo das características apresenta-se de seguida [17]:

Tabela 4.3- Características da bateria de iões de lítio 400 Ah

Variável	Símbolo	Valor	Unidades
<i>Bateria (Li-Ion 3.2V Winston Battery modules WB-LYP400AHA)</i>			
Potência (@0.5 C)	$P_{bat}$	[ - 14.4, 14.4]	kW
Limites do estado de carga	$SoC_{bat}$	[ 20, 100 ]	%
Tensão de circuito aberto mínima	$V_{bat}^{OC_{min}}$	64.4	V
Queda de tensão sem carga	$\delta_{bat}$	1.2	V
Tensão de circuito aberto máxima	$V_{bat}^{OC_{max}}$	92	V
Resistência interna	$R_{bat}$	6.9	mΩ
Massa	$M_{bat}$	315.1	kg
Número de conjuntos em série	$N_{bat}$	23	-
Número de conjuntos em paralelo	$n_{bat}$	1	-

## 5 SIMULAÇÕES

A representação em REM do mini-autocarro foi construída com os elementos da biblioteca EMR disponível no respectivo sítio da *internet*, conforme referido no capítulo 3, dando assim origem a um ficheiro com a extensão *\*.slx* de MATLAB/Simulink apresentado na figura seguinte:

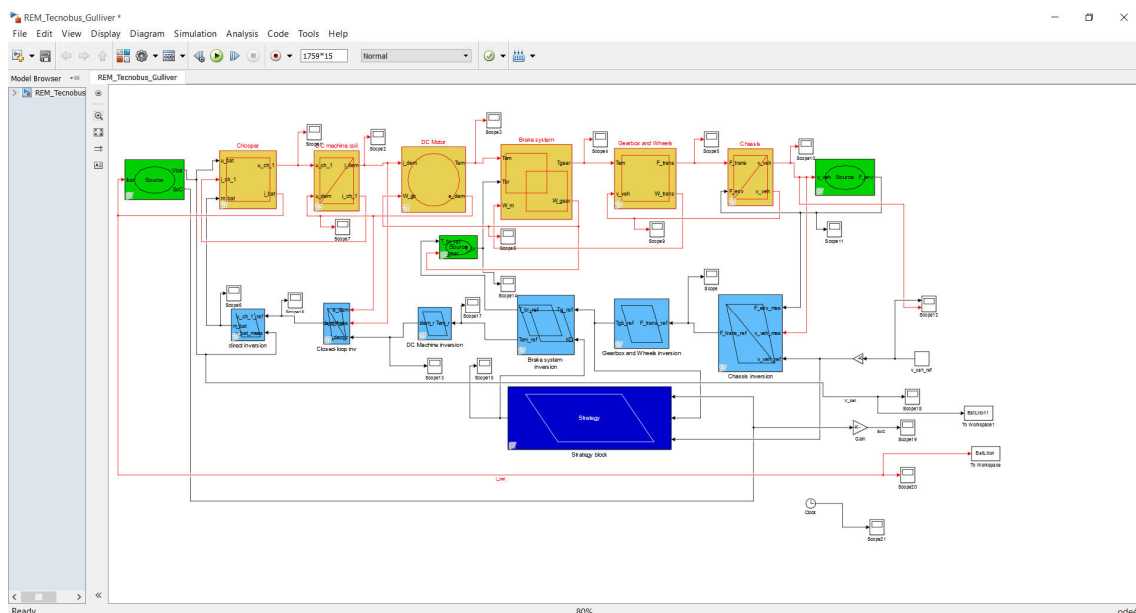


Figura 5.1- REM no MATLAB/Simulink

Foram criados quatro ficheiros com a extensão *\*.m*, com o mesmo software, contendo as configurações iniciais para cada tipo de bateria a simular (ácido-chumbo 585 Ah, iões de lítio 700 Ah, iões de lítio 500 Ah e iões de lítio 400 Ah) incluindo também as variáveis físicas do veículo e da máquina eléctrica. Foi igualmente criado um ficheiro, com a mesma extensão, contendo os vectores velocidade e inclinação da rota com base no ficheiro de GPS obtido durante o percurso e com uma amostragem de 1 segundo (ver capítulo 2). A rota completa contém assim 1759 valores.

Estes últimos ficheiros são inicializados previamente passando-se de seguida ao ficheiro que contém a REM colocando em funcionamento a simulação.

Vários resultados poderão ser extraídos no final da simulação mas dada a sua relevância para o estudo em causa apresentar-se-ão somente os gráficos resultantes da tensão e corrente durante uma rota completa e o gráfico do estado de carga ao longo de um dia de operação no total de 7 horas.

Os gráficos resultantes da simulação utilizando as baterias de ácido-chumbo apresentam-se seguidamente:

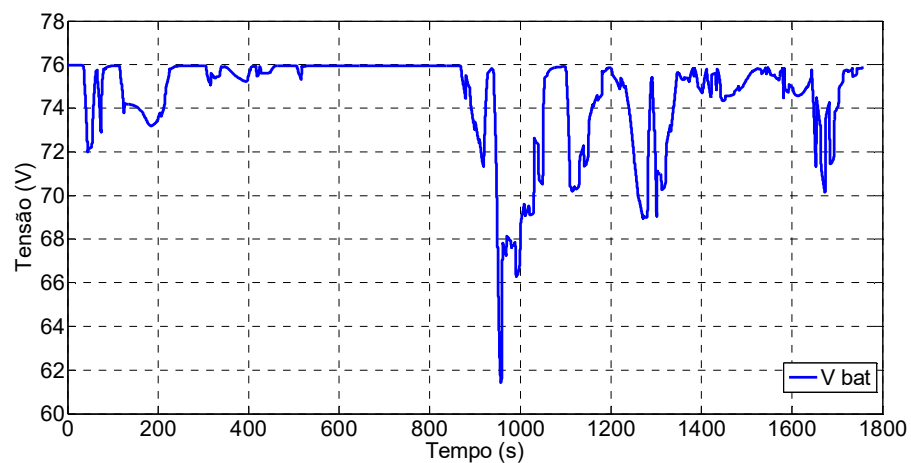


Figura 5.2- Gráfico da tensão para bateria de ácido-chumbo

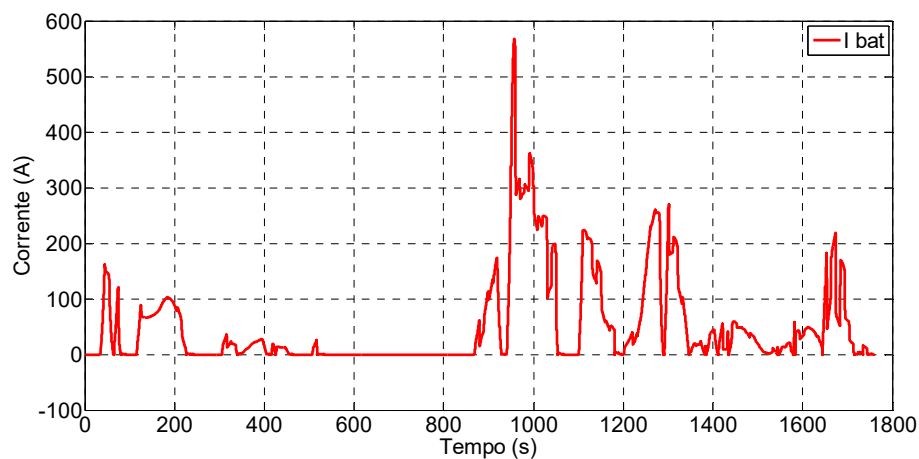


Figura 5.3- Gráfico da corrente para bateria de ácido-chumbo

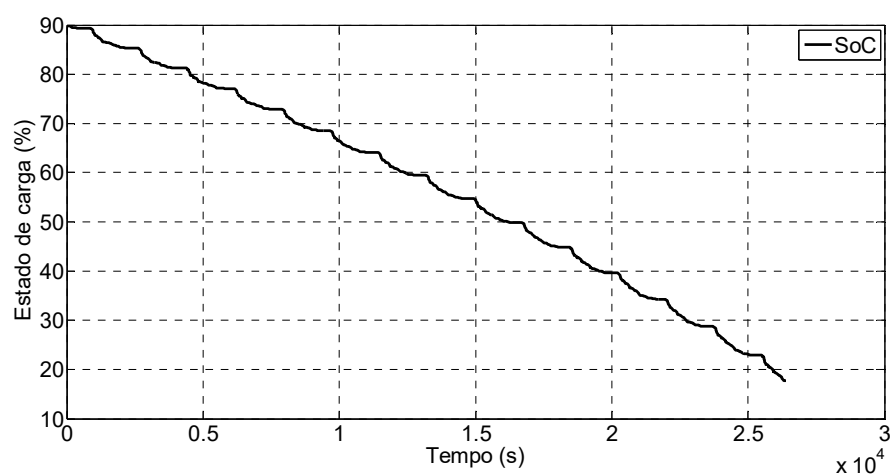


Figura 5.4- Gráfico do estado de carga para bateria de ácido-chumbo

Observando o gráfico da tensão para as baterias de ácido-chumbo verifica-se que em partes mais exigentes do percurso a queda de tensão é algumas vezes na ordem dos 6 V, sofrendo na parte mais crítica de uma queda de tensão de cerca de 14 V. Para baterias de ácido-chumbo estes valores de queda de tensão provocam um envelhecimento prematuro porque exigem, como observável no gráfico da corrente, picos de corrente na ordem dos 200-300 A (aprox. 0.5C) e como consequência aquecimento dos elementos. O maior pico de corrente situa-se perto dos 570 A. No gráfico do estado de carga confirma-se que a operação de um dia conduz a um valor inferior a 20% no final das 7 horas. Este valor de 20 % é considerado o valor limite mínimo de carga para a maioria das químicas de baterias com o objectivo de preservar as recomendações do fabricante para uma vida útil normal.

A primeira bateria a ser considerada como alternativa às actuais foi a de iões de lítio 700 Ah. As imagens seguintes representam a tensão, corrente e estado de carga respectivamente:

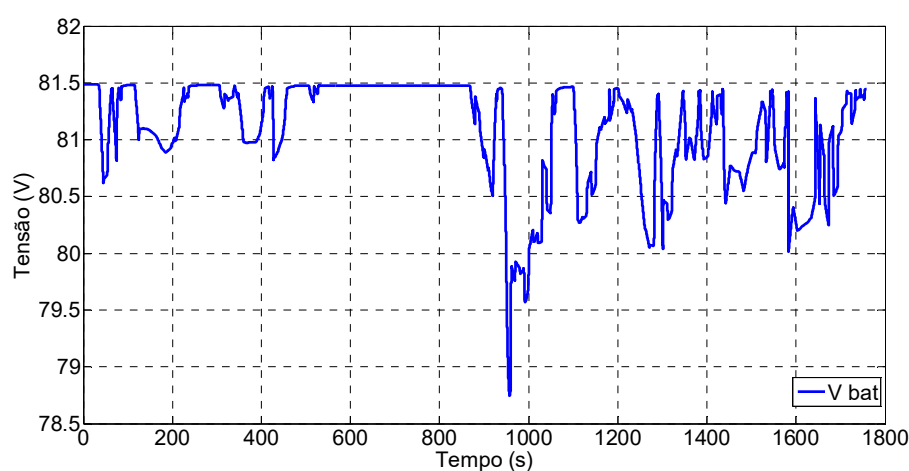


Figura 5.5- Gráfico da tensão para iões de lítio 700 Ah

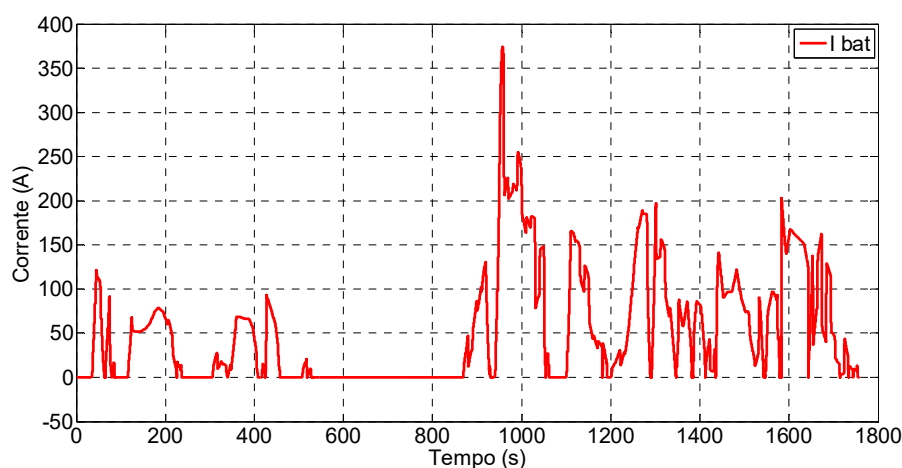


Figura 5.6- Gráfico da corrente para iões de lítio 700 Ah

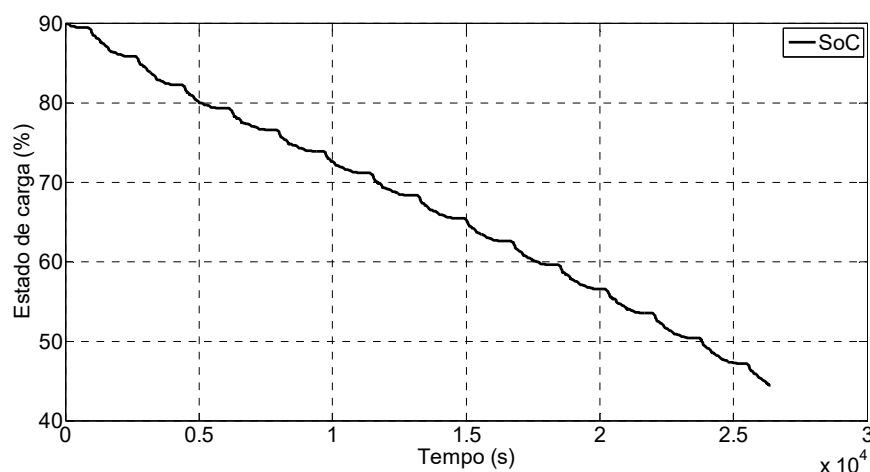


Figura 5.7- Gráfico do estado de carga para iões de lítio 700 Ah

As diferenças para os gráficos da bateria de ácido-chumbo são evidentes, obtendo-se nesta simulação quedas de tensão na ordem do 1,5 V nos pontos mais exigentes e cerca de 3 V na parte mais crítica. Os valores de corrente são perfeitamente normais para a capacidade desta solução não ultrapassando os 200 A na quase totalidade do percurso. O pico mais elevado de corrente é de 374,21 A.

O gráfico do estado de carga denota um valor final superior a 40% o que fornece maior confiança ao operador em relação às baterias de ácido-chumbo. Esta reserva de energia no final do dia de operação permite do ponto de vista económico poupar na energia dispendida para recarregamento ou estender a operação.

A segunda simulação recaiu sobre a bateria de iões de lítio com 500 Ah de capacidade. Como referido no capítulo anterior esta escolha foi feita tendo presente que apesar de uma menor capacidade em relação às baterias de ácido-chumbo, o conjunto consegue satisfazer o requisito de potência máxima do sistema. A ordem de apresentação dos gráficos é igual às anteriores (tensão, corrente e estado de carga).

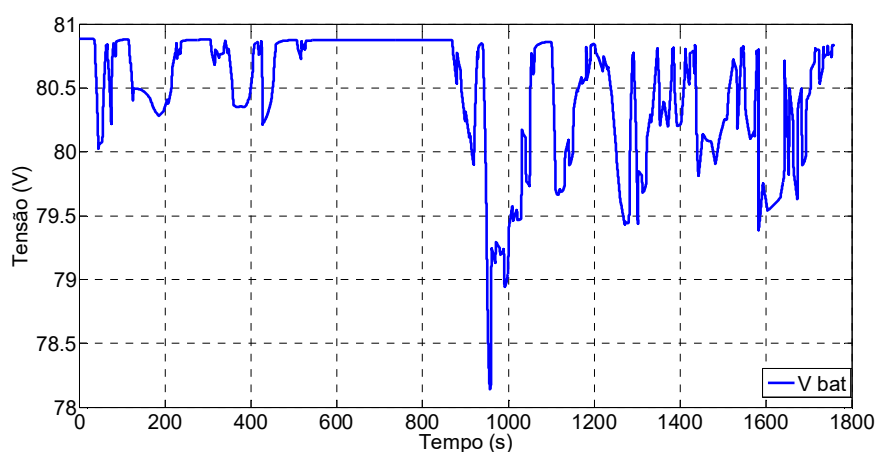


Figura 5.8- Gráfico da tensão para iões de lítio 500 Ah

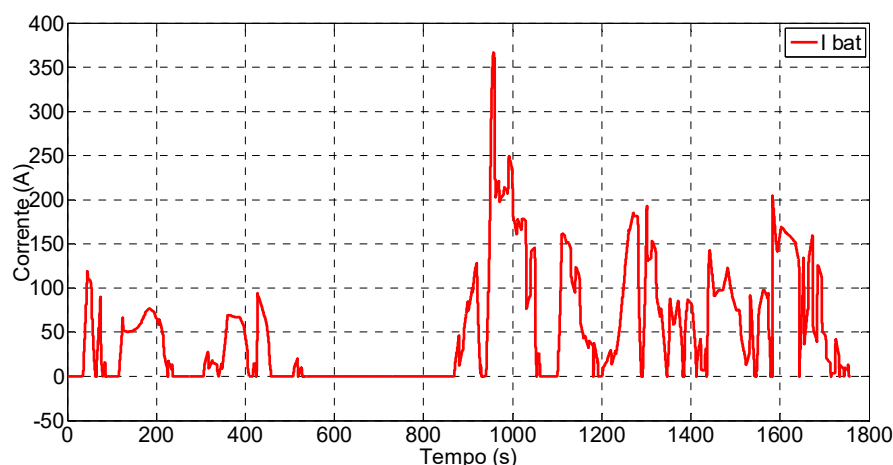


Figura 5.9- Gráfico da corrente para iões de lítio 500 Ah

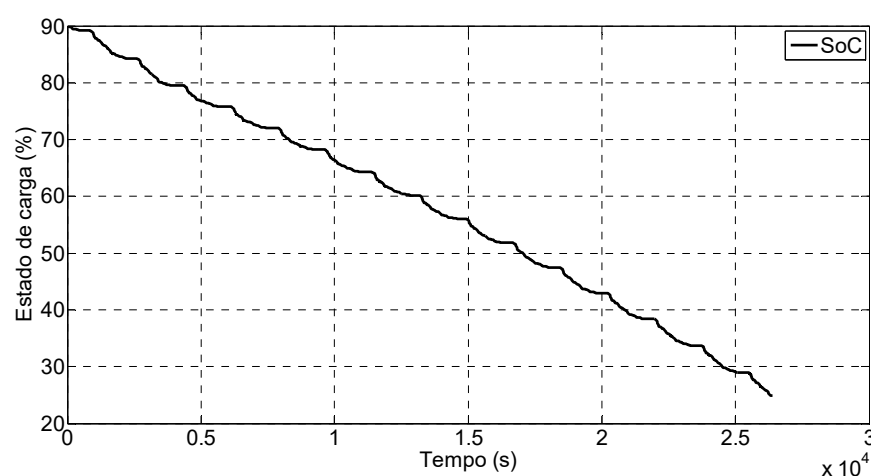


Figura 5.10- Gráfico do estado de carga para iões de lítio 500 Ah

Os resultados do gráfico da tensão são bastante semelhantes ao conjunto de 700 Ah com quedas de tensão na maior parte do percurso não superiores a 1,5 V e com o pico de 3 V na parte mais exigente. O gráfico da corrente demonstra um comportamento bastante aproximado do conjunto de 700 Ah com valores nunca superiores a 200 A excepto um pico de 366,65 A.

Atentando no gráfico do estado de carga, este apresenta um valor no final do dia de operação inferior à solução de 700 Ah mas ainda assim superior a 20 %. A economia conseguida no recarregamento será inferior à anterior. Este gráfico mostra ainda que apesar de um comportamento semelhante em termos de tensão e corrente, a inferior capacidade desta alternativa conduz a uma profundidade de descarga maior.

Como última simulação admitiu-se a possibilidade de utilizar uma bateria com a capacidade de 400 Ah que numa análise prévia satisfazia a condição de potência máxima e permitia reduzir ainda mais os custos de aquisição e recarregamento. A massa da bateria é também ligeiramente inferior. Os resultados obtidos estão patentes nos gráficos seguintes:



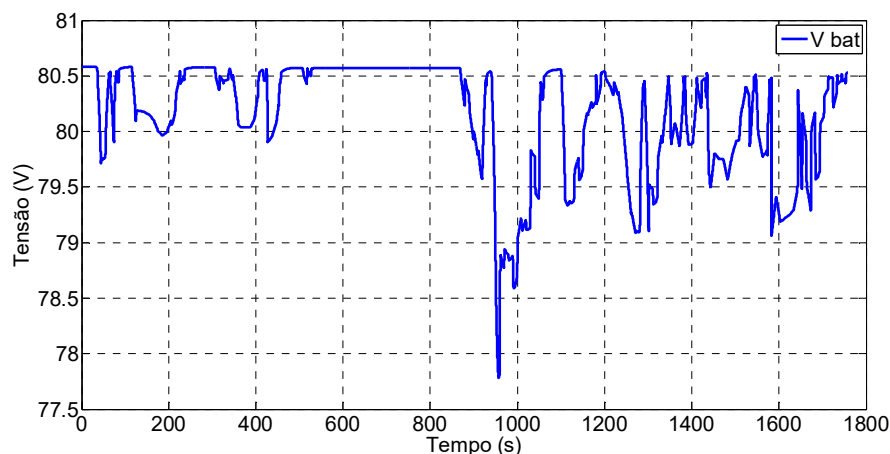


Figura 5.11- Gráfico da tensão para iões de lítio 400 Ah

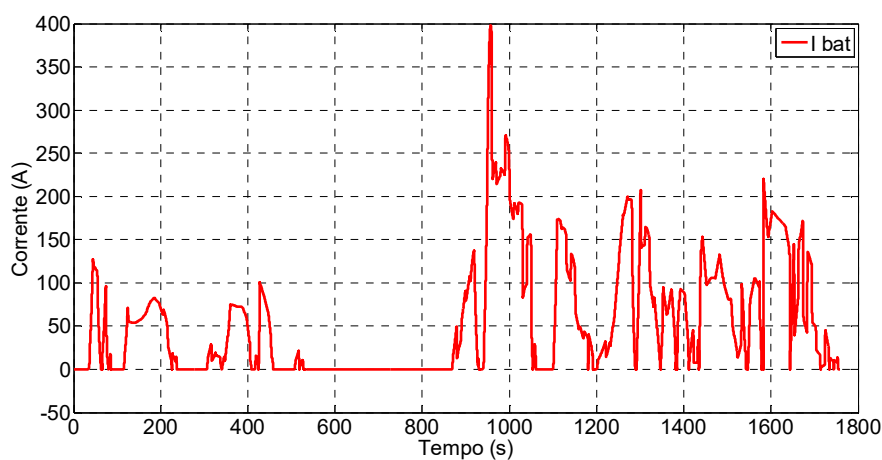


Figura 5.12- Gráfico da corrente para iões de lítio 400 Ah

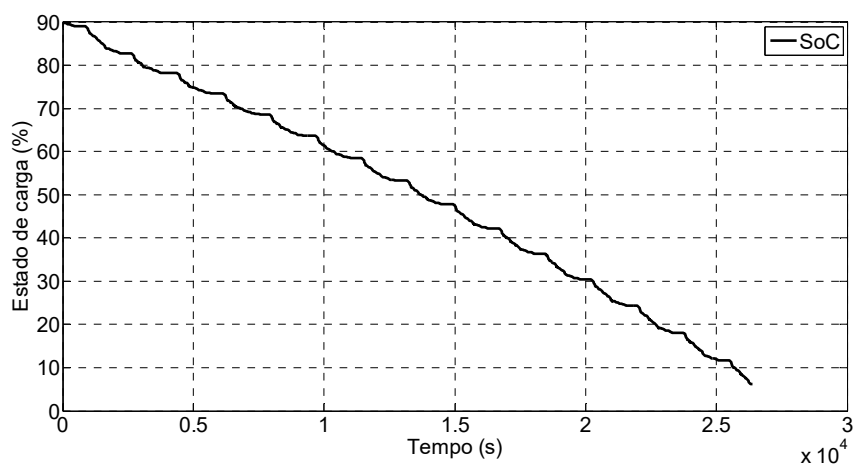


Figura 5.13- Gráfico do estado de carga para iões de lítio 400 Ah

Novamente nesta simulação se obtêm valores muito equivalentes na evolução da tensão e da corrente em relação às duas anteriores alternativas. As quedas de tensão rondam os 1,5 V com um pico de 3 V. A corrente contudo apresenta já alguns picos ligeiramente acima dos 200 A e

o pico maior com o valor de 398,2 A e que se traduz praticamente numa taxa de descarga de 1C.

O último gráfico (estado de carga) fornece a resposta aos valores menos optimistas obtidos nos gráficos da tensão e corrente. Assim sendo, esta bateria acabaria o dia de operação com um estado de carga inferior a 10%, desaconselhado para uma utilização de acordo com as normas do fabricante. Este comportamento poderá ter interesse se for economicamente viável ter 2 conjuntos desta bateria.

Como resumo apresenta-se uma tabela com os valores exactos dos pontos focados na análise anterior dos gráficos.

Tabela 5.1- Quadro resumo das simulações

Variável/Química	Ácido-chumbo	Iões de Lítio	Iões de Lítio	Iões de Lítio
		700 Ah	500 Ah	400 Ah
<b>Corrente máxima</b>	567.26 A	374.21 A	366.65 A	398.2 A
<b>Tensão mínima</b>	61.43 V	78.74 V	78.13 V	77.78 V
<b>Estado de carga final</b>	17.6 %	44.5 %	25 %	6.15 %
<b>Massa total da bateria</b>	1500 kg	483 kg	328.9 kg	315.1 kg

## 6 ANÁLISE ECONÓMICA

### 6.1 Introdução

Como demonstrado no anterior capítulo as vantagens técnicas de substituir as actuais baterias de ácido-chumbo por iões de lítio com as capacidade de 700 Ah ou 500 Ah são bastantes. Sendo estas (iões de lítio) por natureza mais resistentes a picos de corrente, o envelhecimento precoce que advém deste facto, é muito reduzido ou nulo em oposição às ácido-chumbo. Função disto, é igualmente o valor do estado de carga no final do dia de operação situando-se acima dos 20 %, o que está também em concordância com o recomendado pelos fabricantes. Uma das vantagens desta reserva de carga traduz-se, evidentemente, na poupança de energia para recarregamento.

A orografia da cidade de Coimbra em geral e do percurso actual do mini-autocarro eléctrico em particular, requer picos de potência frequentes necessitando para isso de elementos de armazenamento de energia com relevante potência específica.

Se a decisão fosse apenas puramente técnica nesta altura do trabalho já era mais clara a opção a tomar. No entanto, para que o presente trabalho seja o mais completo possível será necessário fazer uma análise económica da opção de substituição.

Assim, interessa avaliar quais os valores envolvidos e a sua projecção ao longo do tempo. A tabela seguinte apresenta os custos iniciais sem IVA das quatro opções estudadas. Na opção de iões de lítio 400 Ah vão ser tidos em conta, neste capítulo para efeitos de análise económica, a utilização de duas baterias uma vez que o estado de carga era muito baixo (6,15%) no final do dia de operação. Assume-se assim, que cada bateria fará apenas metade do dia de trabalho [17][18][19][20].

Tabela 6.1- Quadro de custos associados a cada bateria

Tipo de bateria	Custo unitário (€)	Carregador e BMS	Valor total (€)
Ácido-Chumbo 72 V 585 Ah	5410	n/a	5410
Iões lítio 72 V 700 Ah	17542.90	3254.57	20797.47
Iões de lítio 72 V 500 Ah	12077.63	3254.57	15332.20
Iões de lítio 72V 400 Ah	11528.20	3254.57	14782.77

Para o sistema de gestão da bateria (Battery Management System-BMS) e carregador os valores desagregados são apresentados na tabela seguinte [19][20].

Tabela 6.2- Custos desagregados do carregador e BMS

Equipamento	Referência comercial	Valor unitário (€)	Quantidade	Valor total (€)
Carregador	TCCH-H83-120	2516.67	1	2516.67
Controlador principal	BMS123-MC	395.20	1	395.20
Módulos celulares	BMS123-CM	14.90	23	342.70

Os valores apresentados baseiam-se na informação disponibilizada pelos SMTUC para ácido-chumbo e por consulta às páginas *internet* de revendedores de baterias iões de lítio, carregador e sistemas de gestão de bateria [17][18].

Sabe-se também por informação dos SMTUC que as baterias de ácido-chumbo têm tido um ciclo de vida médio de 3 anos, o que está de acordo com a generalidade das tabelas de especificações desta química que prevêm uma esperança de vida de 1000 ciclos de carga-descarga [19][20].

Retira-se das tabelas de especificações disponíveis em anexo uma vida de 5000 ciclos de carga-descarga para as baterias de iões de lítio de 700 Ah e 400 Ah e de 2000 ciclos para as de 500 Ah. Esta discrepância, visto que são a mesma tecnologia, indicia uma provável superioridade nos materiais e processo de fabrico das primeiras [18][19].

No capítulo anterior foi evidenciado o estado de carga final das baterias também como factor gerador de poupança no recarregamento. Importa pois mensurar essa poupança e incluí-la na análise económica.

Sabendo que os SMTUC são alimentados em Média Tensão (M.T.) com o tarifário contratado “Longas utilizações-ciclo diário” do regime transitório, fez-se o levantamento na página *internet* da EDP dos preços do kWh em Dezembro de 2015, para os dois períodos de consumo menos oneroso para o cliente: vazio normal e super vazio. Durante o ano os preços variam consoante o trimestre sendo um valor no primeiro e quarto e outro valor no segundo e terceiro.

Assume-se que os SMTUC irão privilegiar o carregamento durante a noite que possui quer no horário de inverno quer no de verão um bloco de super vazio e dois blocos antes e depois deste de vazio normal. A soma dos três blocos totalizam sempre 10 horas. Para melhor compreensão apresenta-se uma tabela resumo com os valores recolhidos na página de *internet* da EDP [20][25].

Tabela 6.3- Quadro de preços de energia

Trimestre	Tarifa	Valor (€/kWh)
I e IV	Vazio Normal	0.0739
II e III	Vazio Normal	0.0765
I e IV	Super Vazio	0.0631
II e III	Super Vazio	0.0703

Como se pretende que o mini-autocarro opere durante o ano inteiro foi calculado um valor médio anual para o preço do kWh em vazio de 0.0752€ e para super vazio de 0.0667€.

Seguidamente calcularam-se as necessidades de energia para recarregamento das baterias para os diversos conjuntos em estudo e tendo em conta a eficiência dos carregadores. A eficiência do carregador das baterias de chumbo situa-se em 65% e para o carregador de iões de lítio seleccionado a eficiência é de 93% (ver tabela de especificações em anexo)[15][20]. A tabela infra demonstra a necessidade de carga sendo a última coluna já referidas à energia de entrada no carregador tendo em conta as eficiências [26]. O valor assinalado com (\*) indica a necessidade de carga das duas baterias.

Tabela 6.4- Necessidades de carga por bateria

	Estado de carga final (%)	Estado de carga final (W)	Recarregamento (W)	Energia necessária do lado CA (Wh)
Ácido-Chumbo	17,60	7 431,12	34 706,88	53 395,20
Iões de lítio 700 Ah	44,50	22 428,00	27 972,00	30 077,42
Iões de lítio 500 Ah	25,00	9 000,00	27 000,00	29 032,25
Iões de lítio 400 Ah	53,13	15 301,44	13 498,56	29029,16(*)

Traduzindo na tabela seguinte os valores anuais gastos no carregamento resulta:

Tabela 6.5- Gastos anuais no recarregamento por bateria

Energia necessária do lado AC (kWh)	Tempo de recarregamento	Preço unitário	Total dia (€)	Total ano (€)
53,40	4h em Vazio	0,0752	2,01	1 383,35
	4h em Super Vazio	0,0667	1,78	
30,08	4h em Super Vazio	0,0667	2,00	732,31
29,03	4h em Super Vazio	0,0667	1,94	706,75
29,03	4h em Super Vazio	0,0667	1,94	706,75

## 6.2 Conceitos de análise económica

O resultado da avaliação de um projecto de investimento traduz-se pela apresentação de indicadores que permitem aos investidores tomar conhecimento sobre a viabilidade do projecto, sendo a sua implementação dependente de decisões estratégicas e da disponibilidade de financiamento para a sua concretização [27].

Tal como foi dito anteriormente os ciclos de vida das opções em análise são diferentes pelo que após pesquisa de bibliografia julgou-se ser a melhor solução utilizar a Comparação de Projectos com Horizontes Diferentes descrita no livro “Análise de Projectos de Investimentos” de Omar Mithá da Escolar Editora, ISBN 978-972-592-217-0, capítulo 4, pag. 69-72 [27].

A metodologia seguida preconiza o levantamento dos tempo de vida das opções e executar uma análise temporal com um número de anos igual ao mínimo múltiplo comum entre os anos dos vários ciclos de vida. No caso concreto tendo ciclos de vida de 3, 6 e 12 anos o estudo terá de cumprir 12 anos de duração.

Para o estudo temporal será necessário calcular o Valor Actual Líquido (VAL) que representa a soma do valor actualizado ou descontado dos cash-flows previsionais à taxa de custo do capital.

A sua formulação é:

$$VAL = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+c)^t} \quad (18)$$

Onde  $CF_t$  representa o cash-flow do t-ésimo período e  $c$  o custo do capital ou a taxa de desconto. Para cálculo do cash-flow inicial utilizaremos a seguinte formulação:

$$CF = \text{Resultados Operacionais} + \text{Depreciação} \quad (19)$$

e

$$\text{Resultados Operacionais} = \text{Poupança Gerada} - \text{Gastos} - \text{Depreciação} \quad (20)$$

Começando pela última fórmula que será a primeira a ser calculada e fazendo a transposição para o caso em estudo, a Poupança Gerada será igual ao diferencial entre os custos da energia consumida no recarregamento da bateria de ácido-chumbo e a energia consumida nas outras opções. Os Gastos serão obviamente os custos de recarregamento de cada solução em análise. A Depreciação é tida como o valor que determinado equipamento perde anualmente ao longo da sua vida. A sua fórmula de cálculo mais frequente é aquela que segue o método linear e se traduz da seguinte forma:

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{Valor de aquisição} - \text{Valor residual}}{\text{Números de anos em serviço}} \quad (21)$$

Para a presente análise vamos considerar que o valor residual é nulo para qualquer das opções. No cálculo do VAL existe sempre a dificuldade de determinar com exactidão uma taxa de desconto para um horizonte alargado. Num prazo mais curto pode recorrer-se ao valor da taxa de refinanciamento emitida pelo Banco Central Europeu (BCE) mas para um estudo a 12 anos o grau de incerteza seria elevado. Optou-se por fazer o cálculo do VAL para as taxas de 0%, 2% e 4% que representam as taxas de maior ocorrência ao longo dos últimos anos conforme mostra a figura seguinte:

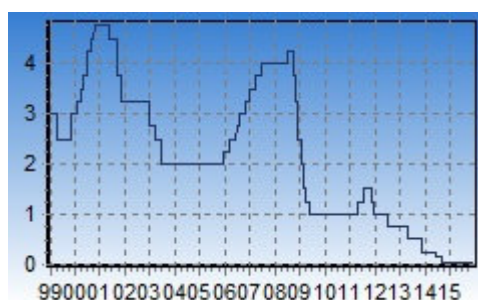


Figura 6.1- Evolução da taxa de refinanciamento do BCE

Para melhor tradução do que se passará ao longo dos 12 anos ir-se-á como já referido, aplicar a comparação com horizontes diferentes mas com adopção do Critério de Réplica que tomará em conta a necessidade de compra de novas baterias replicando o horizonte temporal de vida de baterias com duração inferior a 12 anos até perfazer este período.

As tabelas seguintes apresentam os cálculos para a bateria de ácido-chumbo sendo a tabela mais à esquerda a de cálculo de cash-flow, a central de cálculo da actualização do cash-flow para as taxas de 0%, 2% e 4%.

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gastos Exploração (GE)	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €
Depreciação (D)	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €	- 1 803,33 €
Resultados Operacionais (RO)=(PG)-(GE)-(D)	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €	- 3 186,68 €
Depreciação (D)	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €	1 803,33 €
Cashflow (CF)=(RO)+(D)	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €
Reinvestimento	- €	- €	- 5 410,00 €	- €	- €	- 5 410,00 €	- €	- €	- 5 410,00 €	- €	- €	- €
Cash-Flow com Réplica	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €

Cashflow (atualizado)												
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0%	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €
2%	- 1 356,23 €	- 1 329,63 €	- 6 401,53 €	- 1 278,00 €	- 1 252,94 €	- 6 032,30 €	- 1 204,29 €	- 1 204,29 €	- 5 798,06 €	- 1 157,53 €	- 1 134,83 €	- 1 112,58 €
4%	- 1 330,14 €	- 1 278,98 €	- 6 039,26 €	- 1 182,49 €	- 1 137,01 €	- 5 368,88 €	- 1 051,23 €	- 1 010,80 €	- 4 772,92 €	- 934,54 €	- 898,60 €	- 864,04 €

TA	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	VAL
0%	- 5 410,00	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 6 793,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 1 383,35 €	- 38 240,20 €
2%	- 5 410,00	- 1 356,23 €	- 1 329,63 €	- 6 401,53 €	- 1 278,00 €	- 1 252,94 €	- 6 032,30 €	- 1 204,29 €	- 1 204,29 €	- 5 798,06 €	- 1 157,53 €	- 1 134,83 €	- 1 112,58 €	- 30 773,82 €
4%	- 5 410,00	- 1 330,14 €	- 1 278,98 €	- 6 039,26 €	- 1 182,49 €	- 1 137,01 €	- 5 368,88 €	- 1 051,23 €	- 1 010,80 €	- 4 772,92 €	- 934,54 €	- 898,60 €	- 864,04 €	- 26 071,50 €



As tabelas de cálculo para iões de lítio 700Ah:

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gastos Exploração (GE)	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €
Depreciação (D)	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €	- 1 733,13 €
Resultados Operacionais (RO)=(PG)-(GE)-(D)	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €	- 2 465,44 €
Depreciação (D)	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €	1 733,13 €
Cashflow (CF)=(RO)+(D)	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €
Reinvestimento	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Cash-Flow com Réplica	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31	-732,31

Cashflow (atualizado)												
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0%	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €
2%	- 717,95 €	- 703,87 €	- 690,07 €	- 676,54 €	- 663,28 €	- 650,27 €	- 637,52 €	- 637,52 €	- 625,07 €	- 612,76 €	- 600,75 €	- 588,97 €
4%	- 704,14 €	- 677,06 €	- 651,02 €	- 625,98 €	- 601,91 €	- 578,76 €	- 556,50 €	- 535,09 €	- 514,51 €	- 494,72 €	- 475,69 €	- 457,40 €

TA	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	VAL
0%	-20 797,57	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	- 732,31 €	-29 585,29 €
2%	-20 797,57	- 717,95 €	- 703,87 €	- 690,07 €	- 676,54 €	- 663,28 €	- 650,27 €	- 637,52 €	- 637,52 €	- 625,02 €	- 612,76 €	- 600,75 €	- 588,97 €	-27 160,58 €
4%	-20 797,57	- 704,14 €	- 677,06 €	- 651,02 €	- 625,98 €	- 601,91 €	- 578,76 €	- 556,50 €	- 535,09 €	- 514,51 €	- 494,72 €	- 475,69 €	- 457,40 €	-25 260,44 €

As tabelas de cálculo para iões de lítio 500Ah:

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gastos Exploração (GE)	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €
Depreciação (D)	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €	- 2 555,37 €
Resultados Operacionais (RO)=(PG)-(GE)-(D)	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €	- 3 262,12 €
Depreciação (D)	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €	2 555,37 €
Cashflow (CF)=(RO)+(D)	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €
Reinvestimento	- €	- €	- €	- €	- €	- 12 077,63 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Cash-Flow com Réplica	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 12 784,38 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €

Cashflow (atualizado)												
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0%	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 12 784,38 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €
2%	- 692,89 €	- 679,31 €	- 665,99 €	- 652,93 €	- 640,13 €	- 11 352,16 €	- 615,27 €	- 615,27 €	- 603,20 €	- 591,38 €	- 579,78 €	- 568,41 €
4%	- 679,57 €	- 653,43 €	- 628,30 €	- 604,13 €	- 580,90 €	- 10 103,68 €	- 537,07 €	- 516,42 €	- 496,55 €	- 477,45 €	- 459,09 €	- 441,43 €

TA	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	VAL
0%	-15 332,20	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 12 784,38 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	-35 890,83 €
2%	-15 332,20	- 692,89 €	- 679,31 €	- 665,99 €	- 652,93 €	- 640,13 €	- 11 352,16 €	- 615,27 €	- 615,27 €	- 603,20 €	- 591,38 €	- 579,78 €	- 568,41 €	-30 902,45 €
4%	-15 332,20	- 679,57 €	- 653,43 €	- 628,30 €	- 604,13 €	- 580,90 €	- 10 103,68 €	- 537,07 €	- 516,42 €	- 496,55 €	- 477,45 €	- 459,09 €	- 441,43 €	-27 075,10 €

As tabelas de cálculo para iões de lítio 400Ah (2 baterias):

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gastos Exploração (GE)	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €
Depreciação (D)	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €	- 2 192,58 €
Resultados Operacionais (RO)=(PG)-(GE)-(D)	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €	- 2 899,33 €
Depreciação (D)	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €	2 192,58 €
Cashflow (CF)=(RO)+(D)	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €
Reinvestimento	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Cash-Flow com Réplica	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €

Cashflow (atualizado)												
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0%	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €
2%	- 692,89 €	- 679,31 €	- 665,99 €	- 652,93 €	- 640,13 €	- 627,57 €	- 615,27 €	- 603,20 €	- 591,38 €	- 579,78 €	- 568,41 €	- 557,25 €
4%	- 679,57 €	- 653,43 €	- 628,30 €	- 604,13 €	- 580,90 €	- 558,55 €	- 537,07 €	- 516,42 €	- 496,55 €	- 477,45 €	- 459,09 €	- 441,43 €

TA	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	VAL
0%	-26 310,97	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	- 706,75 €	-34 791,97 €
2%	-26 310,97	- 692,89 €	- 679,31 €	- 665,99 €	- 652,93 €	- 640,13 €	- 627,57 €	- 615,27 €	- 603,20 €	- 591,38 €	- 579,78 €	- 568,41 €	- 557,25 €	-32 329,55 €
4%	-26 310,97	- 679,57 €	- 653,43 €	- 628,30 €	- 604,13 €	- 580,90 €	- 558,55 €	- 537,07 €	- 516,42 €	- 496,55 €	- 477,45 €	- 459,09 €	- 441,43 €	-30 378,10 €

### 6.3 Conclusão do Capítulo

As regras de investimento indicam que para um projecto ser rentável o seu VAL tem de ser positivo mas isto pressupõe que as “Vendas” sejam significativamente maiores que os “Gastos” e que ao longo do tempo isso compense o capital investido.

Na análise exposta todos os valores de VAL resultaram negativos, que significaria para o investidor comum um projecto não rentável e a abandonar mas tal deve-se à não contabilização das “Vendas” pelo uso do mini-autocarro. Estas últimas a existirem seriam iguais em todos os cenários variando o valor do resultado operacional de cenário para cenário consoante a Poupança Gerada pela necessidade de menor custo no recarregamento.

Tratando-se de um serviço público em que o objectivo principal não é o lucro, não cabe aqui fazer a análise se a operação do mini-autocarro é mais ou menos rentável. Cabe somente, e tal retira-se da análise dos cálculos, saber qual o VAL que mais se aproxima de zero e esse está patente nas tabelas da bateria de 700 Ah.

## 7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A ideia do presente trabalho nasceu durante a frequência, pelo autor, das aulas de Tracção e Veículos Eléctricos sob a regência do Prof. Doutor Paulo Pereirinha.

A motivação foi imediata dada a relevância do tema nos dias actuais, coadjuvado pelo desafio de estudar um caso real que é na maior parte das vezes muito apelativo para um aluno. O mote estava lançado e as ferramentas fornecidas.

A frequência no ano de 2013 da Escola de Verão de REM em Lille, França a convite do Prof. Doutor João Pedro Trovão tornou-se assim na oportunidade de aplicar e aprofundar os conhecimentos adquiridos sobre essa forma de representação de modelos.

O evento Escola de Verão de REM em 2014 realizada em Coimbra e a conferência internacional IEEE-Vehicle Power and Propulsion Conference 2014 também nesta cidade realizada, proporcionaram excelentes oportunidades de novas aprendizagens e contacto com novas abordagens. Durante esta última conferência o autor teve ainda oportunidade de apresentar um artigo científico sobre a presente temática numa sessão especial dedicada à REM.

As características da REM e a simplicidade na construção do controlo fazem desta forma de representação de modelos, uma ferramenta muito fiável quando o objectivo é estudar os subsistemas energéticos de um sistema global composto também por outros subsistemas fora do âmbito da energia.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objectivo de encontrar resposta para uma solicitação dos SMTUC e assim fornecer uma solução de compromisso entre as variáveis técnica e económica que permita estender a vida do mini-autocarro ou mesmo ampliar o seu raio de acção. Julga-se cumprido.

Considera-se que o presente trabalho não termina por aqui na medida em que está criada uma ferramenta que pode ser facilmente adaptada a novas abordagens que questionem a substituição de outros componentes do veículo nomeadamente a máquina eléctrica ou o conversor DC-DC sempre com a possibilidade de avaliar também a parte económica.

### 7.1 Trabalhos Futuros

Conceitos diferentes de recarregamento de baterias tal como o carregamento indutivo durante os tempos de paragem, a possibilidade de recarregamento na rede de tracção eléctrica da cidade ou a comparação com veículos de outros fabricantes poderão ser desenvolvimentos possíveis no futuro para o presente trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EU Transport in Figures Statistical Pocketbook 2013, European Commission, 2013.
- [2] P. Pereirinha, “Why electric cars have to be and already are a reality!”, apresentação convidada no painel de discussão "Electric Cars: Reality or Wishful Thinking?", VI Energy Forum, Sopot, Poland, Nov. 28th-30th, 2011.
- [3] P.G. Pereirinha, J.C. Quadrado, J. Esteves “Sustainable Mobility: Part I – Main Problems”, Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (CEE'05), CD-ROM, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal, October 10-12, 2005
- [4] P.G. Pereirinha, J.C. Quadrado, J. Esteves “Sustainable Mobility: Part II – Some Possible Solutions Using Electric And Hybrid Vehicles”, Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (CEE'05), CD-ROM, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal, October 10-12, 2005
- [5] Luís Santos, “Os veículos eléctricos na alta de Coimbra”, Workshop Combustíveis e Veículos Alternativos – Práticas Correntes e Futuras Linhas de Orientação Política para o Transporte de Passageiros (Projecto Alter-Motive), Lisbon, October 27, 2010.
- [6] Trovao, J.P.; Pereirinha, P.G.; Jorge, H.M., "Simulation model and road tests comparative results of a small urban electric vehicle," 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics 2009, pp.836,841, 3-5 Nov. 2009.
- [7] A. Bouscayrol, "Formalismes de représentation et de commande des systems électromécaniques multimachines multiconvertisseurs", (text in French) HDR dissertation, Université Lille1, December 2003.
- [8] Olivier Tremblay, Louis-A. Dessaint, “Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications”, EVS24 Stavanger, Norway, May 13 - 16, 2009.
- [9] Nuno Faria, Paulo G. Pereirinha, João P. Trovão “Modelling of an Urban Electric MiniBus using Energetic Macroscopic Representation Graphic Description”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2015, Montreal-Canada, October, 19-22, 2015.
- [10] Depature, C.; Lhomme, W.; Bouscayrol, A.; Sicard, P.; Boulon, L., "Efficiency Map of the Traction System of an Electric Vehicle from an On-Road Test Drive," IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2014, pp.1,6, 27-30 Oct. 2014.
- [11] Mayet, C.; Mejri, M.; Bouscayrol, A.; Pouget, J.; Riffonneau, Y., "Energetic Macroscopic Representation and inversion-based control of the traction system of a hybrid locomotive," IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2012, vol., no., pp.491,496, 9-12 Oct. 2012

- [12] Teemu Halmeaho, Pekka Rahkola, Ari-Pekka Pellikka, Kari Tammi, Sami Ruotsalainen, “Electric City Bus Energy Flow Model and Its Validation by Dynamometer Test”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2015, Montreal-Canada, October, 19-22, 2015.
- [13] Hyun Deog Yoo, Elena Markevich, Gregory Salitra, Daniel Sharon, Doron Aurbach Department of Chemistry, Bar-Ilan University, Ramat Gan 5290002, Israel “On the challenge of developing advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion” MATERIALSTODAY Volume 17, Issue 3, April 2014, Pages 110–121.
- [14] P. Pereirinha, J. Trovão, “Multiple energy sources hybridization: the future of electric vehicles?” Z. Stevic (Ed.), "New Generation of Electric Vehicles", InTech, 2012
- [15] P. Pereirinha, J. Trovão, A. Santiago, “Set Up and Test of a LiFePO<sub>4</sub> Battery Bank for Electric Vehicle”, Electrical Review - Przegląd Elektrotechniczny, Warszawa, Poland, ISSN PL 0033-2097, R. 88 NR 1a/2012
- [16] Mayet, C.; Horrein, L.; Bouscayrol, A; Delarue, P.; Verhille, J.-N.; Chattot, E.; Lemaire-Semail, B., “Comparison of Different Models and Simulation Approaches for the Energetic Study of a Subway”, IEEE Trans. Veh. Tech., vol.63, no.2, pp.556-565, Feb. 2014.
- [17] Página internet “EV-Power” <<http://www.ev-power.eu/Winston-40Ah-200Ah/>> acedida em 15 de Setembro de 2015.
- [18] Página internet “Lithium battery (LiFePO<sub>4</sub>)” <<http://3xe-electric-cars.com/get-into-store/lithium-battery-lifepo4/sinopoly-500ah-lifepo4-lithium-battery-detail>> acedida em 15 de Setembro de 2015.
- [19] Página internet “EV-Power – Battery Management” <http://www.ev-power.eu/Battery-Management/> acedida em 17 de Setembro de 2015.
- [20] Página internet “8kW-8000W Battery Charger” <[http://www.electrircarpartscompany.com/8kw-8000w-br-48V-140A-br-60V-120A-br-72V-100A-br-84V-84A-br-96V-72A-br-108V-64A-br-120V-60A-br-144V-48A-br-156V-44A-br-168V-40A-br-180V-36A-br-192V-36A-br-216V-32A-br-240V-288A-br-288V-24A-br-312V-22A-br-Battery-Charger\\_p\\_93.html](http://www.electrircarpartscompany.com/8kw-8000w-br-48V-140A-br-60V-120A-br-72V-100A-br-84V-84A-br-96V-72A-br-108V-64A-br-120V-60A-br-144V-48A-br-156V-44A-br-168V-40A-br-180V-36A-br-192V-36A-br-216V-32A-br-240V-288A-br-288V-24A-br-312V-22A-br-Battery-Charger_p_93.html)> acedida em 26 de Novembro de 2015.
- [21] Manual Tecnobus “Uso e Manutenzione- Impianto Trazione M19970940-002”.
- [22] Manual Tecnobus “Uso e Manutenzione – Istruzione per la guida M20000100-000”.
- [23] Manual Tecnobus “Manutenzione Schemi Elettrici M20070910-005”.
- [24] Manual Tecnobus “Norme per l’uso e manutenzione delle batterie trazione – Matterie Trazione M19970960-000”.

- [25] Página internet “EDP–Tarifa de Média Tensão” <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/Pages/TarifaMT.aspx> acessado a 1 de Dezembro de 2015.
- [26] J. Trovão, P. Pereirinha, L. Trovão, H. Jorge "Electric Vehicles Chargers Characterization: Load Demand and Harmonic Distortion", 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization (EPQU'11), Lisbon, Portugal, 17-19 October 2011.
- [27] “Análise de Projectos de Investimentos” de Omar Mithá da Escolar Editora, ISBN 978-972-592-217-0, capítulo 4, pag. 69-72.



## ANEXOS



# Winston Battery

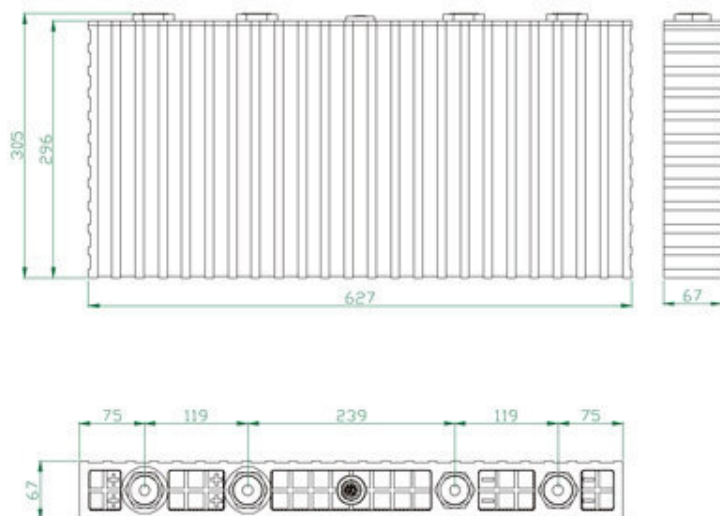
Address: Winston Industrial Park, Third Industrial Zone, Lisongliang Village,  
Gongming Town, Shenzhen, Guangdong P.R.C  
Tel: +86-755-8602 6789 Fax: +86-755-8602 6678  
Http: //www.winston-battery.com E-mail: winston@winston-battery.com

## 溫斯頓牌稀土鋰鈮動力電池性能說明 SPECIFICATION FOR WINSTON RARE EARTH LITHIUM YTTRIUM POWER BATTERY

### 單體電池尺寸 DIMENSIONS



型号(MODEL): WB-LYP700AHA



### 技術參數 SPECIFICATIONS

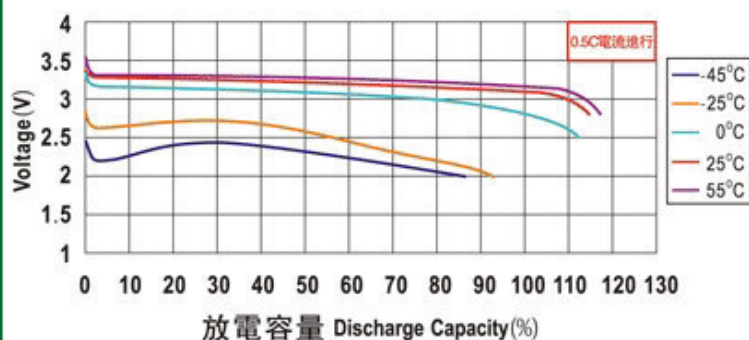
型號(MODEL)	WB-LYP700AHA	
標稱容量 Nominal Capacity	700AH	
規格 SPEC	長 L	627mm
	寬 W	67mm
	高 H	305mm
工作電壓 Operation Voltage	充電 Charge	4.0(V)
	放電 Discharge	2.8(V)
內阻 Internal resistance	$\leq 0.3(m\Omega)$	
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 Constant Current	$\leq 3CA$
	脈衝試 Impulse Current	$\leq 10CA$
最大充電電流 Max Charge Current	2100A(3CA)	
標準充放電電流 Standard Charge/ Discharge Current	350A(0.5CA)	
循環壽命 Cycle Life	(80%DOD)	$\geq 5000$ Times
	(70%DOD)	$\geq 7000$ Times
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	$\leq 200^{\circ}C$	
適應環境 Operating Temperature	充電 Charge	$-45^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$
	放電 Discharge	
	存儲濕度 Storage Humidity	$\leq 75\%RH$
自放電率(月) Self-discharge Rate	$\leq 1\%$ (月/Monthly)	
單體電池重量 Weight	$21kg \pm 300g$	

# WB-LYP700AHA型電池的基本特性

## THE BASIC CHARACTERISTICS OF WB-LYP700AHA BATTERIES

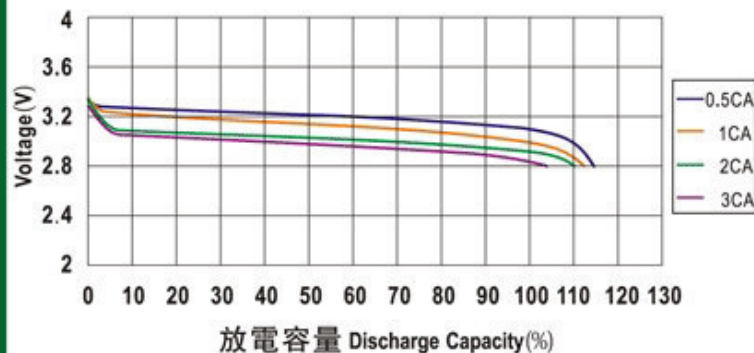
### 不同環境溫度下LYP類電池的放電特性曲線

Discharge characteristic curve of LYP type battery under different ambient temperature



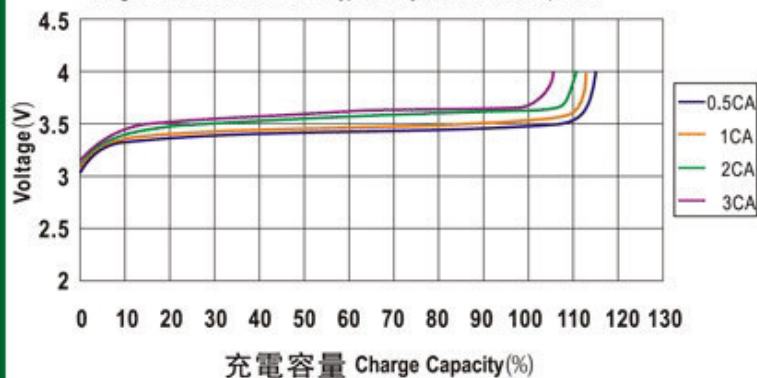
### 常溫下LYP類電池的放電特性曲線

Discharge characteristic curve of LYP type battery under normal temperature



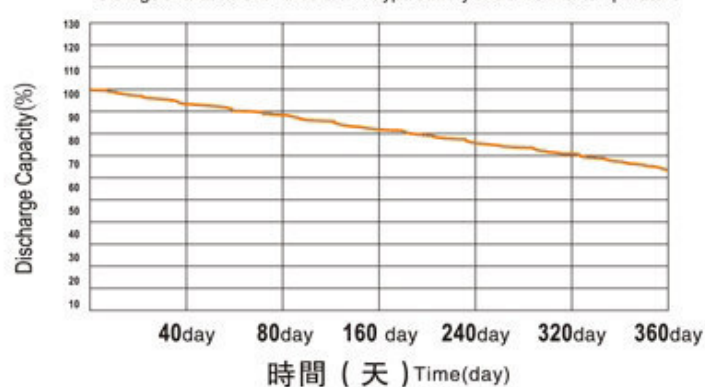
### 常溫下LYP類電池的充電特性曲線

Charge characteristic curve of LYP type battery under normal temperature



### 在常溫下LYP類電池的存儲特性曲線

Storage characteristic curve of LYP type battery under normal temperature



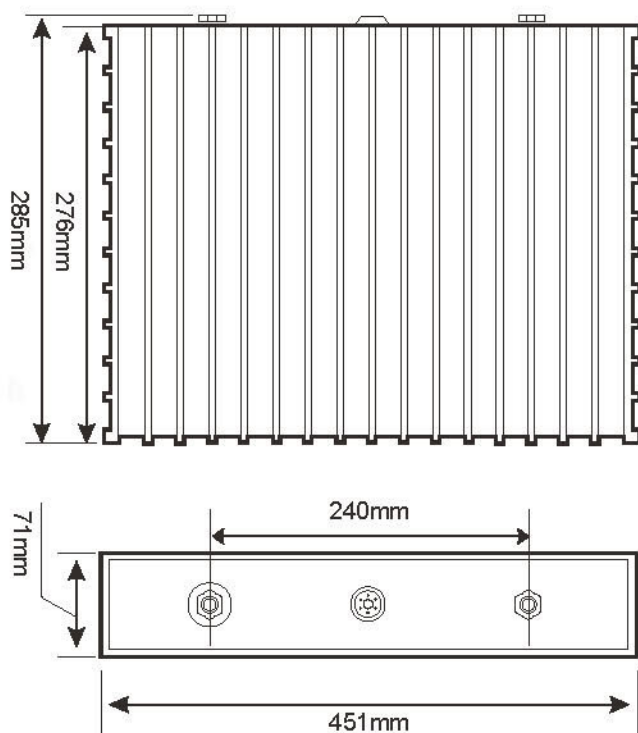
## 中聚锂电池性能说明

## SINOPOLY LITHIUM ION BATTERY SPECIFICATIONS

### 单体电池尺寸 DIMENSIONS



型号(MODEL):SP-LFP500AHA



### 技术参数

### SPECIFICATION

型号(MODEL):SP-LFP500AHA

标称容量 Nominal Capacity	500Ah,1600Wh	
标称电压 Nominal Voltage	3.2V	
循环寿命 Life Cycles	80% DOD	≥2000Times
	70% DOD	≥3000Times
自放电率 Self-discharge Rate	≤3%	
重量 Weight	14.3±0.3kg	

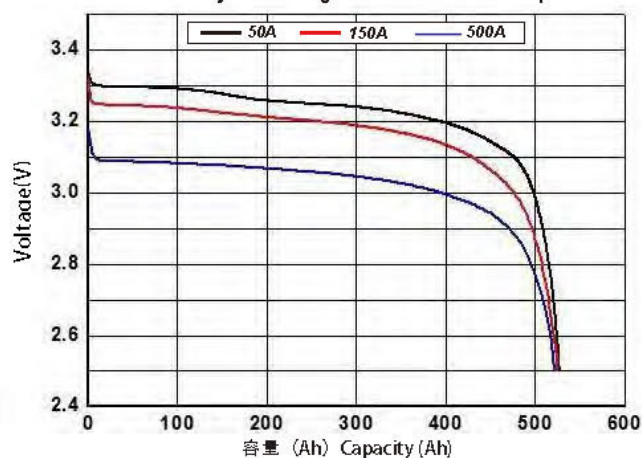
	充电 Charge (模式, Mode:cc-cv)	放电 Discharge
截止电压 Cut-Off Voltage	3.8V	2.8V
标准电流 Standard Current	0.3C,150A	0.3C,150A
最大恒电流 Max Constant Current	3C,1500A	3C,1500A
最大脉冲电流(10秒) Max Impulse Current (10s)	3C,1500A	5C,2500A
工作温度 Operating Temperature	0°C ~ +70°C	-20°C ~ +70°C



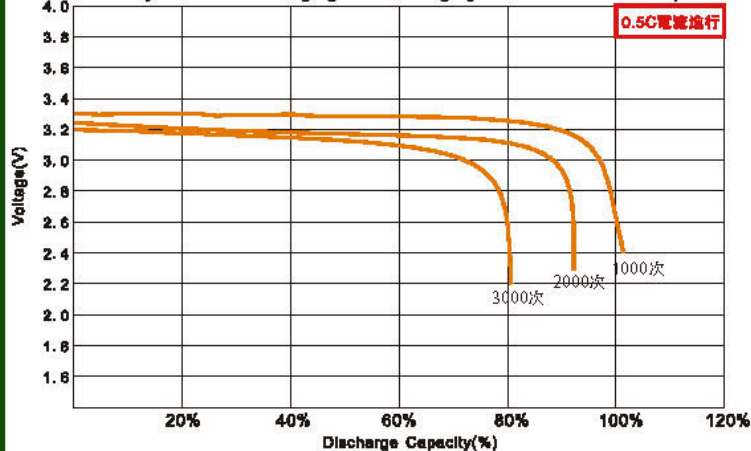
# SP-LFP500AHA型电池的充放电特性

## SP-LFP500AHA CHARGE & DISCHARGE CHART

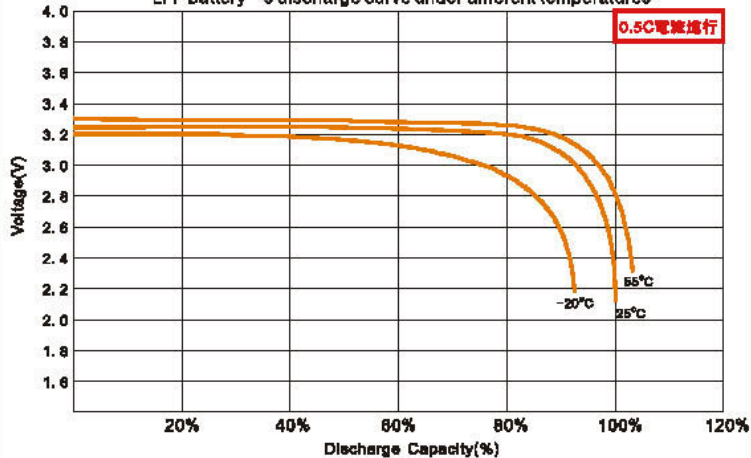
常温下 LFP 类电池的放电特性曲线  
LFP battery's discharge curve under normal temperature



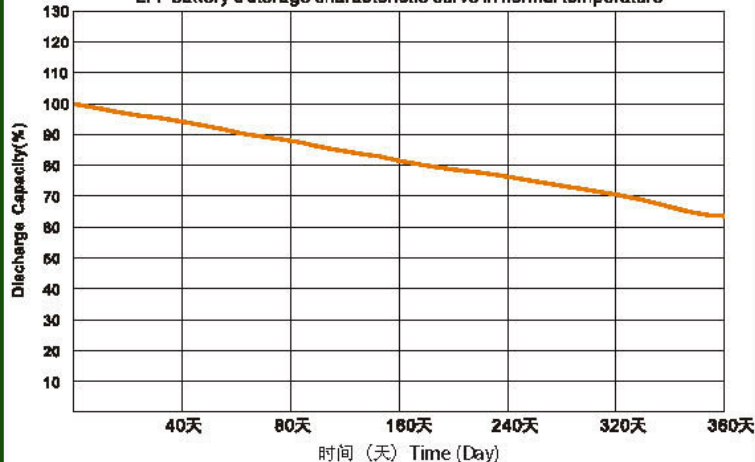
常温下 LFP 类电池的循环充放电特性曲线  
LFP battery's circulation charging and discharging curve under normal temperature



不同环境温度下 LFP 类电池的放电特性曲线  
LFP battery's discharge curve under different temperatures



在常温环境下 LFP 类电池的存储特性曲线  
LFP battery's storage characteristic curve in normal temperature





# Winston Battery

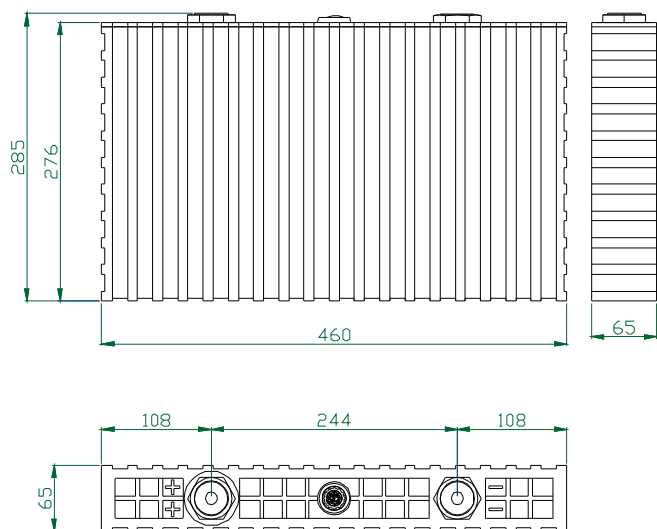
Address: Winston Industrial Park, Third Industrial Zone, Lisonglang Village,  
Gongming Town, Shenzhen, Guangdong P.R.C  
Tel: +86-755-8602 6789 Fax: +86-755-8602 6678  
Http: //www.winston-battery.com E-mail: winston@winston-battery.com

## 溫斯頓牌稀土鋰鈮動力電池性能說明 SPECIFICATION FOR WINSTON RARE EARTH LITHIUM YTTRIUM POWER BATTERY

### 單體電池尺寸 DIMENSIONS



型号(MODEL): WB-LYP400AHA



### 技術參數 SPECIFICATIONS

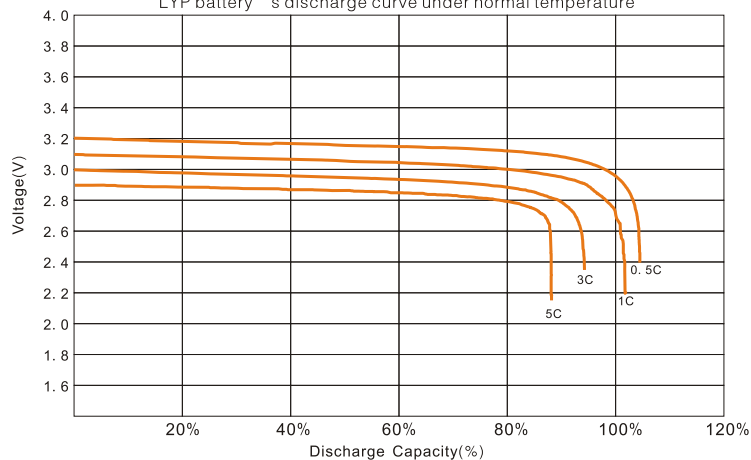
型號(MODEL)	WB-LYP400AHA(B)	
標稱容量 Nominal Capacity	400AH	
規格 SPEC	長 L	460mm
	寬 W	65mm
	高 H	285mm
工作電壓 Operation Voltage	充電 Charge	4.0(V)
	放電 Discharge	2.8(V)
內阻 Internal resistance	$\leq 0.3(m\Omega)$	
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 Constant Current	$\leq 3CA$
	脈衝試 Impulse Current	$\leq 10CA$
最大充電電流 Max Charge Current	1200A(3CA)	
標準充放電電流 Standard Charge/ Discharge Current	200A(0.5CA)	
循環壽命 Cycle Life	(80%DOD)	$\geq 5000\text{Times}$
	(70%DOD)	$\geq 7000\text{Times}$
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	$\leq 200^{\circ}\text{C}$	
適應環境 Operation Temperature	充電 Charge	$-45^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$
	放電 Discharge	
	存儲濕度 Storage Humidity	$\leq 75\%\text{RH}$
自放電率(月) Self-discharge Rate	$\leq 3\%$ (月/Monthly)	
單體電池重量 Weight	$13.5\text{kg} \pm 250\text{g}$	

# WB-LYP400AHA型電池的充放電特性

## WB-LYP400AHA CHARGE & DISCHARGE CHART

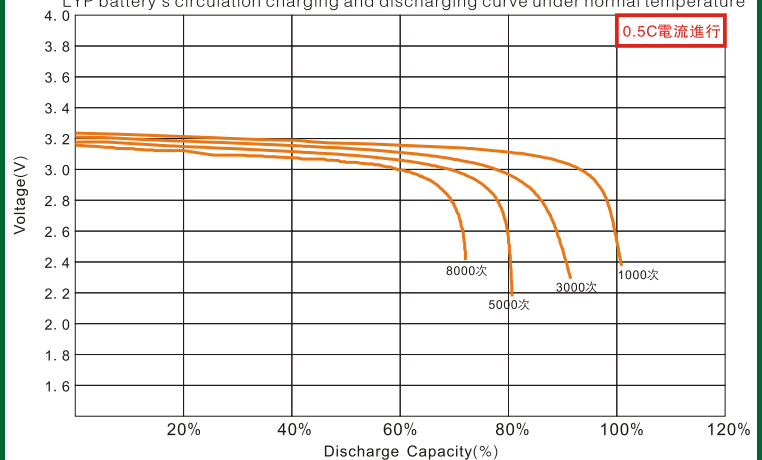
常溫下LYP類電池的放電特性曲線

LYP battery's discharge curve under normal temperature



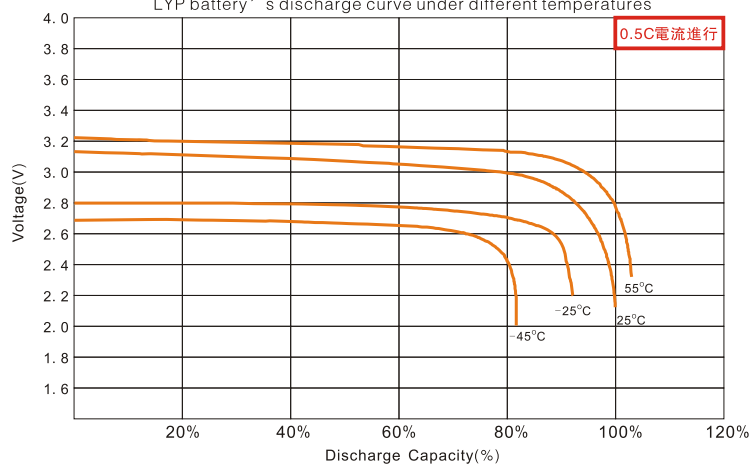
常溫下LYP類電池的循環充放電特性曲線

LYP battery's circulation charging and discharging curve under normal temperature



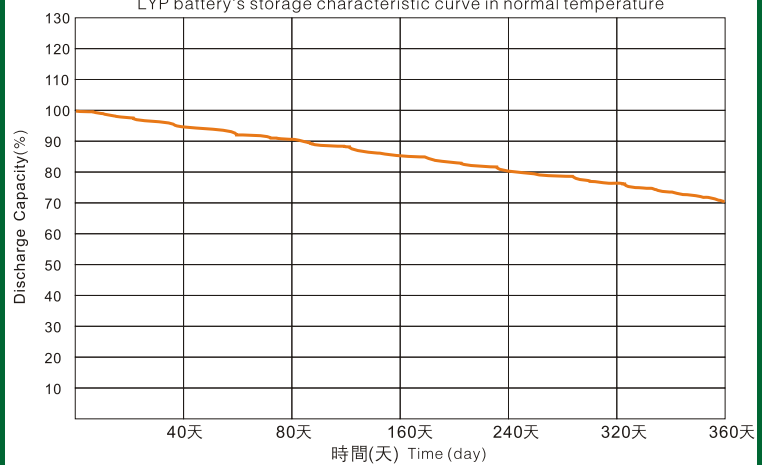
不同環境溫度下LYP類電池的放電特性曲線

LYP battery's discharge curve under different temperatures



在常溫境溫下LYP類電池的存儲特性曲線

LYP battery's storage characteristic curve in normal temperature



## HF/PFC 8KW Lithium Battery Charger



### Models

Lithium Battery Charger	Vout Max	Iout Max
TCCH-H66-140	66V	140A
TCCH-H83-120	82.6V	120A
TCCH-H96-100	96.2V	100A
TCCH-H112-84	112V	84A
TCCH-H130-72	130V	72A
TCCH-H145-64	144.7V	64A
TCCH-H168-60	168V	60A
TCCH-H192-48	192V	48A
TCCH-H208-44	208V	44A
TCCH-H234-40	233.3V	40A
TCCH-H243-36	243V	36A
TCCH-H258-36	258V	36A
TCCH-H290-32	289.5V	32A
TCCH-H337-28A8	337V	28.8A
TCCH-H389-24	389V	24A
TCCH-H417-22	417V	22A

Size (mm): 357(L) × 254(W) × 377(H)

### HF/PFC On-board Charger (Lithium Battery Charger)

#### I Product Summary & Application Scopes

The charger is applicable for various lithium batteries like LiFePO<sub>4</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> etc., It features light weight, small volume, stable performance, high efficiency and reliable security etc., It can be switched automatically between the floating and balancing charging and also has the protection functions of reverse connection, output short-circuit and overload and so on.

The charger is widely used for battery-charging cycles in electric vehicles such as electric forklift, golf cars, electric trucks, electric tour bus, electric yacht, cleaning machines, or Uninterruptible Power Supply (UPS), solar energy, wind power dynamo and electric communication system on the railway etc.

#### II Technical Target

AC Input Voltage Range	AC85V~AC265V
AC Input Frequency	45~65 Hz
AC Power Factor	≥0.98
Full Load Efficiency	≥93%
Mechanical Shock & Vibration Resistance Level	Conformance to SAEJ1378 Standard
Environmental Enclosure	IP46
Operating Temperature	-40℃~+55℃ (-104℉~+131℉)
Storage Temperature	-40℃~+100℃ (-104℉~+212℉)
Charging Control	Via CAN bus or ENABLE

#### III Protection Features

1. Thermal Self-Protection: When the internal temperature of the charger exceeds 75℃, the charging current will reduce automatically. If it exceeds 85℃, the charger will shutdown protectively. When the internal temperature drops, it will resume charging automatically.
2. Short-circuit Protection: When the charger encounters unexpected short-circuit, it will automatically stop to output. When fault removes, the charger will re-start in 10 seconds.
3. Reverse Connection Protection: When the battery is polarity reversed, the charger will cut off the connection between circuit and the battery, and refuses to start. It can avoid any destroy.
4. Input Low-voltage & Over-voltage Protection: When the AC input Voltage is lower than 85V or higher than 265V, the shutdown protectively and automatically resume working with the voltage is normal again.

#### IV Appearance Labels



Please check carefully the labels on the casing of the charger before using in order to completing the transaction check the label on the charger before using, it can provide some help for you to understand the performance and the specification of the charger.

#### i. Bar Code Label:

Attaches on the output terminal of the charger. For example, SN10071001

1007: Production batch number. 1001: Bar code number. 48-25: Hardware model

HD VER 1.6 : Version number from the manufacturer



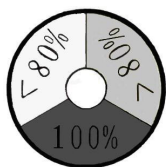
#### ii. Model Label: take the model TCCH-H58V4-25A for example

INDUSTRIAL	
BATTERY	<b>58.4Vmax</b>
CHARGER	
Input: 100~240VAC 50/60Hz	14 / 8.1A
Output: 48V --- 25A@220VAC 48V --- 24.5A@115VAC	
Battery: LiFePO4	16 cells
Model: TCCH-H58V4-25A	
Environmental Enclosure: IP46	

a) Input 100~240VAC 50/60Hz 14/8.1A: The rated input current is 14A at 115VAC and 8.1A at 220VAC;

b) Output 48V --- 25A@220VAC 48V --- 24.5A@115VAC: The maximum current is 25A at input 220VAC, and 24.5A at input 115VAC. c) Will add "-CAN" after the model if the charger controlled by CAN module. E.g. "TCCH-H58V4-25A-CAN".

#### iii. LED Label It is the important symbol to evaluate whether the charger works normally.



Red-Green flash (one second interval)	Battery Disconnected
Red flash (three seconds interval)	Repair Battery
Red flash (one second interval)	<80% Charge Indicator
Yellow flash (one second interval)	>80% Charge Indicator
Green flash (one second interval)	100% Charge Indicator

## V Common Faults & Solutions

In case of the charging fails, please examine all the outside lines carefully to make sure that they are connected correctly. If circuits failure have been excluded, you can check the failure code of charging LED and handle it according to the following table.

LED Flashing Sequence (One Cycle)		Indication
1	R G _ _ _ _ _	Wrong Battery
2	R G R _ _ _ _	Overcharged
3	R G R G _ _ _	Battery Overheated
4	R G R G R _ _	Incorrect AC Input Voltage
5	R G R G R G _ _	External Thermal Sensor Fault
6	R G R G R G R _	Communication Interface Fault
7	G R _ _ _ _ _	Charger Overheated
8	G R G _ _ _ _	Charger Relay Fault
9	G R G R _ _ _	Charger Itself Fault

**Note:** 1. R—red G—green 2. “\_” denotes one second pause

3. Above LED flashing sequence is one cycle; the LED will flash repeatedly if the fault has not been removed.

#### Solutions

▲ **Wrong Battery:** Verify the battery voltage range matching with charger or inspect the battery for damage.

▲ **Overcharged:** Confirm the battery capacity and the selected curve are matched or if the battery is defective.

▲ **Battery Overheated:** Check the temperature at the external thermal sensor. If overheated, the charger will start the protection.

▲ **Incorrect AC Input Voltage:** Check that the AC input voltage is in accordance with the requirement.

▲ **External Thermal Sensor Fault:** Ensure connect the thermal sensor correctly.

▲ **Communication Interface Fault:** Make sure the communication have been correctly connected or if it is damaged.

▲ **Charger Overheated:** Check if the ambient temperature is too high or the ventilation is smooth.

▲ **Charger Relay Fault:** Repair. ▲ **Charger Itself failure:** Repair.

## Connection Instruction for Control Interface

### I. Charger's Communication Connector



PIN	Description
1	ENABLE:
2	GND:
3	+12V: +12V internal power supply 12V (Load≤50mA)
4	LED - Red
5	LED - Green
6	RX: Serial Communication Receiver (for charger)
7	TX: Serial Communication Sender (for charger)

### II. Security Tips



1. Do not allow the lead from any PIN to contact the battery positive or negative.
2. Never attempt to connect any two wires from the SP1312 connector that not be connected.
3. Applied power supply or load above 50mA to +12V PIN3 is forbidden.
4. Internal impedance of PIN1 (ENABLE) is 10K with allowable range 0~16V. Please connect a series resistance of 10 K when controlling by an external 24V supply. (Refer to manufacturer first)

### III. Charger's Connection Instruction for Control Interface

◆ **TC charger** can have CAN communication control or ENABLE control modes. **TCcharger** company will configure either before delivery as per customer's requirement. Note that the control interface can not be active at the same time in different modes. The customer should select the appropriate control mode according to the battery management system (BMS) type and the battery requirement.

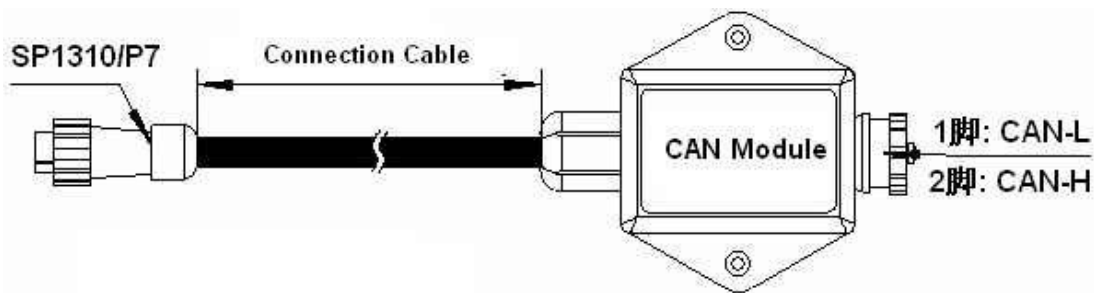
BMS Category		Mode of Connection	Brief Description
BMS with CAN communication function	<b>Control mode No 1#</b>	CAN communication Module (Model: TC-619B V3.1)	BMS controls the charging process by the commands sent from CANbus
Battery protector board or BMS without CAN communication function	<b>Control mode No 2#</b>	Relay control	Use normally open contacts of relay to control the charging enable wires. Closed=Enable, Open=Disable
		Optocoupler device control	Use optoelectronic coupled devices to control the charging enable wires.
		2-5V control	Use 2-5V (dividing by resistance) controlling the charging enable wires and stop charging and be able to set up the output current from 0% to 100% for the charger.

#### ◆ Control mode No 1# : USING THE CAN COMMUNICATION CONTROL

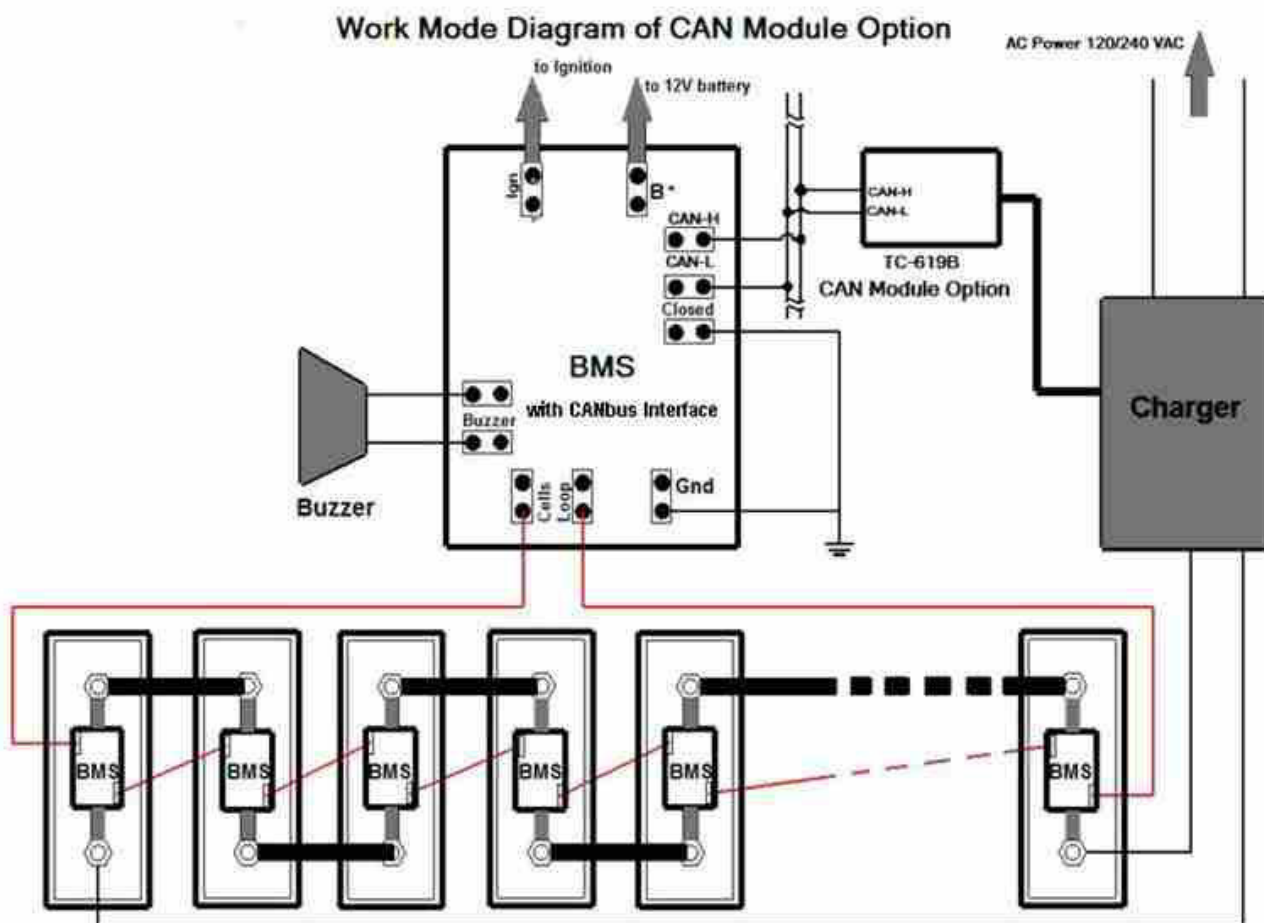


1. The charger can be controlled by CAN communication when the BMS has functionality. The CAN communication module is required (TC-619B V3.1) and can be connected with the BMS CANbus.
2. The customer should specify "CAN communication" protocol when ordering. Specified CAN ID, CAN module type and CAN communication protocol supported are set up before delivery.
3. A Standard CAN module with cable length 225mm and the mating connector car PIN 1 connects to CAN-L, PIN 3 connects to CAN-H. See below.

#### 4. TC-619B V3.1 CAN communication module's interface Diagram



#### 5. SCHEMATIC

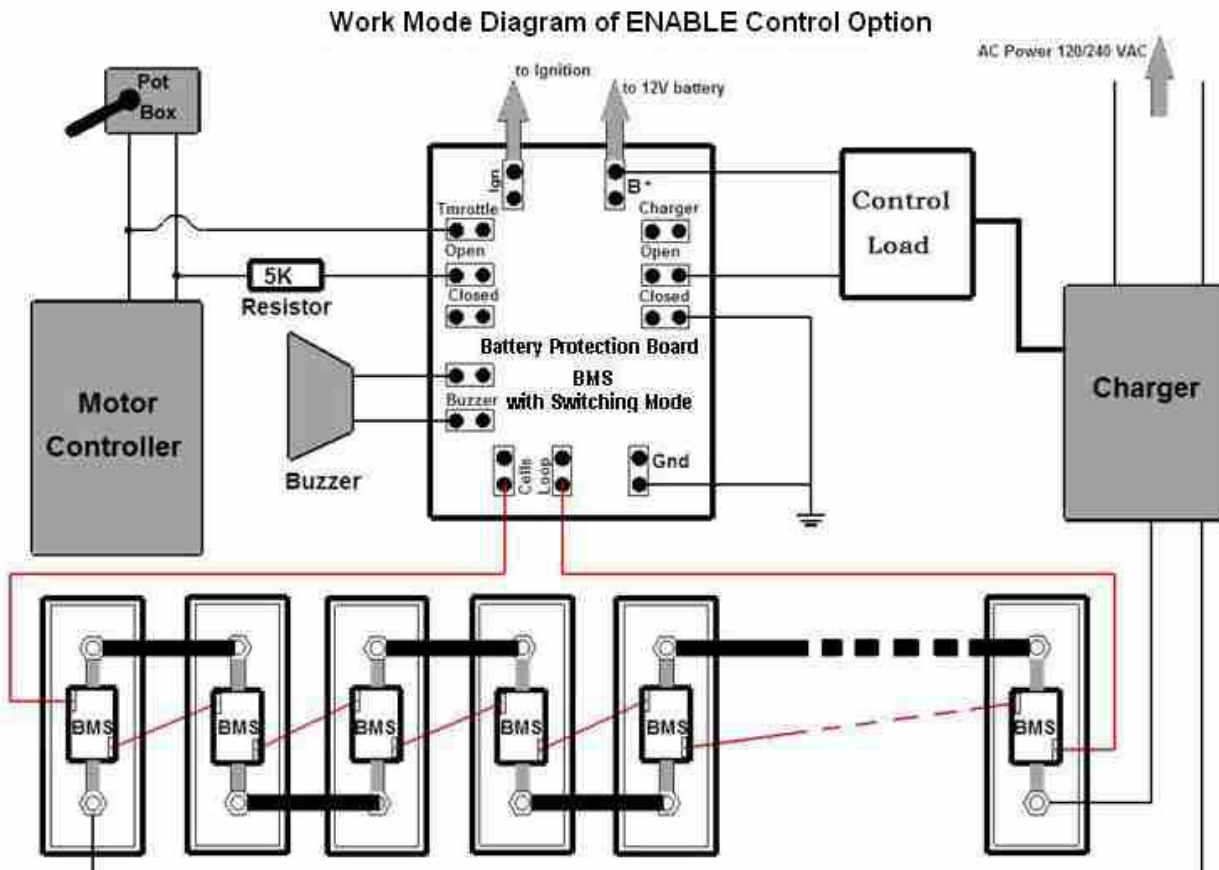


#### ◆ Control mode No 2# : USING THE ENABLE CONTROL

**1.** Charging process: Constant current (this current is controllable) charging mode is applied first, then constant voltage charging when the battery reaches the specified voltage point. The voltage does not increase in the constant voltage stage and the charge current will gradually reduce. Charging ceases automatically when the current falls to a preset value (generally one tenth of maximum charging current). If ENABLE signal is removed at any time, charging ceases.

2. The ENABLE/+12V wires can be used to control the charger by an ON/OFF signal from a battery management system.
  3. Alternatively the voltage between ENABLE and GND can be used to linearly control the charger output current.
- When it is above 2V, charger commences charging. Applying 2~5V can control the maximum output current.
- Below 1.5V the charger will cease charging, re-applying above 2V will re-enable charging.

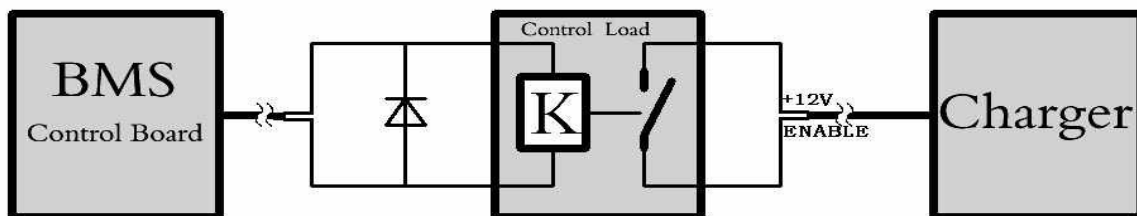
#### 4. SCHEMATIC



#### 5. ENABLE CONTROL THREE METHODS

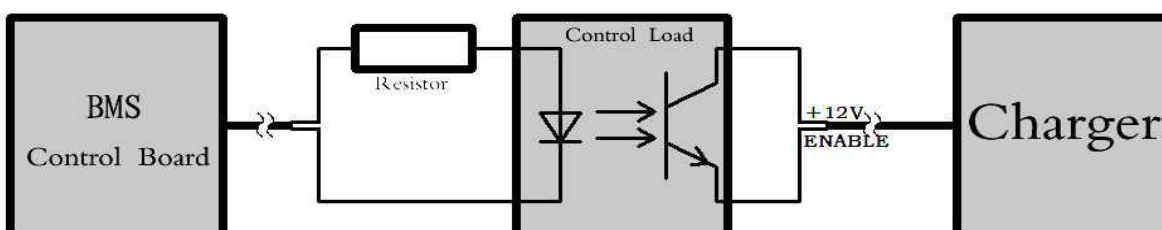
##### ▼ ENABLE CONTROL method 1: USING RELAY CONTROL

The charger provides +12V (red) and ENABLE(black) from 7-PIN connector. A relay can be connected with BMS according to the Schematic below. Charging is controlled by connecting or disconnecting +12V and ENABLE. If ENABLE is disconnected, charging will cease. Upon re-connection, the charger will recommence charging.



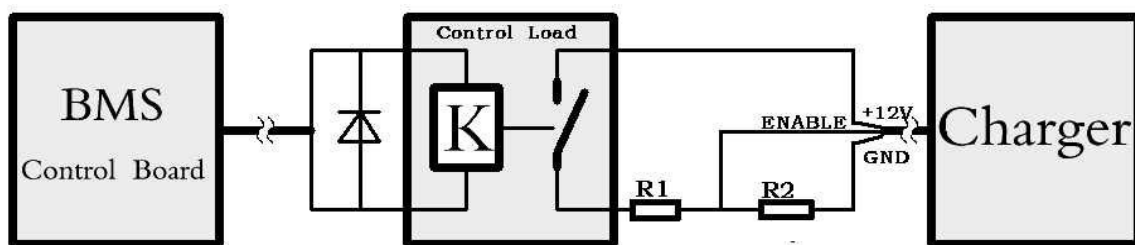
##### ▼ ENABLE CONTROL method 2: Optical-couple Control

Alternatively an Optical-coupling device can be connected with the BMS according to the Schematic below. Charging is controlled by connecting or disconnecting +12V and ENABLE. If ENABLE is disconnected, charging will cease. Upon re-connection, the charger will recommence charging.

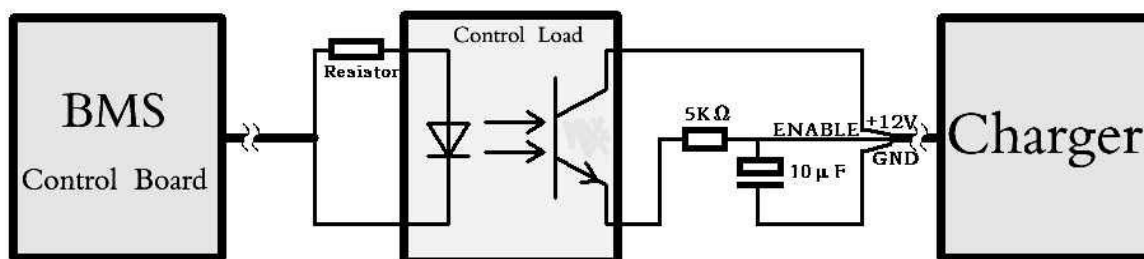


### ▼ ENABLE CONTROL method 3: USING 2-5V CONTROL

- a. Control of charging current and stop charging can be controlled by altering the DC voltage on ENABLE (PIN 1). It is possible to control the the maximum output current from 0% to 100% of the charger maximum capability. During the stop mode ( $<1.5V$ ) if the voltage rises above 2V between ENALBE (PIN 1) and GND(PIN2) charger will enter into working mode. In this working mode, when the control voltage is reduced under 1.5V the charger returns to the stop mode. 2V~5V on ENABLE corresponds linearly to output current from 0% to 100%. For example, When it is 2V between PIN 1 and PIN 2, maximum output current of the charger is 0; When 3V between them, it is 33% of the maximum output current; When 4V between them, it's 66% of it; When above 5V between them, it's 100%.
- b. If control only of the maximum charging current is required, use two resistors (R1, R2) to divide voltage and get a fixed DC voltage to ENABLE and the charger operates at the corresponding current. Output current is determined by the voltage that divided by resistors. It's also possible to use the external relay control or Optical-couple control. The output capacity of optical-couple should be more than 10mA and total value of two resistors should not be less than 1500 Ohms.



- c. If the maximum charging current need to be altered at any time, it can be accomplished by changing the voltage between ENALBE and GND. Generally, use PWM to drive the optical-couple. The output of optical-couple goes through RC filter and then connect to ENABLE. The Schematic below shows another way of altering the voltage between ENABLE and GND using PWM output from the BMS.



## IV. Descriptions

PIN	DEFINITION	
1	ENABLE input	
2	GND	
3	+12V internal power supply	
4		
5		
6		
7		



SP1310/P

- ◆ Select PINs (1, 2, 3) , when using 2-5V to control.

PIN 1: Black    PIN 2: Green    PIN3: Red



- ◆ Select PINs (1, 3) , when using Relay and optocoupler to control.

PIN 1: Black    PIN 3: Red

